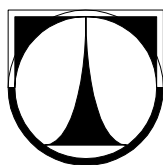


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Liberec 2006

**Martin Podlipný**

---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika  
Studijní obor: 2612R011 – Elektrotechnické informační a řídicí systémy

**Srovnávací studie parametrů datových přenosů  
v mobilních sítích**

**Comparative study of data transfers in mobile  
telecommunication networks**

**Bakalářská práce**

Autor:	<b>Martin Podlipný</b>
Vedoucí práce:	Ing. Roman Špánek
Konzultant:	Ing. Pavel Pírk

**V Liberci 19. 5. 2006**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Katedra:

Akademický rok: 2005/2006

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Martin Podlipný**

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika

Obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu:

### **Srovnávací studie parametrů datových přenosů v mobilních sítích**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracovat podrobnou rešerši o současných technologiích v oblasti mobilní datové komunikace pro Asii, Spojené státy a Evropu
2. Provést porovnání parametrů technologií vzhledem k jejich parametrům
3. Porovnat datovou komunikaci mezi kontinenty Asie, Spojené státy, Evropa
4. Naprogramovat ve vhodném prostředí aplikaci využívající některou z dostupných technologií

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Seznam odborné literatury:

[1] konsorcium ELSEVIER (<http://www.sciencedirect.com/>)

[2] konsorcium IEEE (<http://www.computer.org/portal/site/csdl/index.jsp>)

[3] konsorcium SPRINGER (<http://www.springerlink.com>)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Špánek

Konzultant: Ing. Pavel Pírk

Zadání bakalářské práce: **25.10. 2005**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. 5. 2006**

L.S.

.....  
Vedoucí katedry

.....  
Děkan

V Liberci dne 27. října 2005

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Romanu Špánkovi za podněty, připomínky, cenné rady a vedení v průběhu tvorby této bakalářské práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá principy komunikace, provozem a strukturou mobilních sítí a schopnostmi datových technologií (GPRS, EDGE, CDMA, W-CDMA, HSDPA). Studie by měla sloužit jako seznamovací text podávající základní a všeobecný přehled pro běžné uživatele mobilních zařízení. Práce je zaměřena především na popis, praktické využití, srovnání a vyhodnocení vlastností a parametrů současně dostupných technologií, včetně nově nastupujících sítí třetí generace. Práce zachycuje souhrn technologií v celosvětovém měřítku.

Součástí práce je také řešení aplikace, která má umožnit sledování aktuální rychlosti při mobilním přenosu dat. Tato aplikace je vytvořena v prostředí Java 2 Micro Edition.

## Abstract

This bachelor thesis deals with principles of communication, functioning and structure of mobile telecommunication networks and capabilities of data technologies (GPRS, EDGE, CDMA, W-CDMA, HSDPA). This work should serve as an introductory text which gives basic and overall overview for common users of mobile devices. This work is especially aimed at description, practical purposes, comparison and evaluation of properties and characteristics of currently available technologies and technologies of the third generation. This work also contains summary of technologies in a world-wide scale.

A component of this work is a solution of application which allows tracking the current speed during the data transfer. This application is created in Java 2 Micro Edition platform.

# Obsah

<b>Prohlášení .....</b>	<b>iii</b>
<b>Poděkování.....</b>	<b>iv</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>v</b>
<b>Obsah.....</b>	<b>vi</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>ix</b>
 <b>Úvod.....</b>	 <b>1</b>
 <b>1 Principy komunikace mobilních sítí a jejich Generace .....</b>	 <b>2</b>
1.1 Celulární princip .....	2
1.2 Architektura sítě.....	3
1.3 Předávání signálu (Handover) .....	4
1.4 Multiplex.....	4
1.4.1 Frekvenční multiplex.....	5
1.4.2 Časový multiplex.....	5
1.4.3 Kódový multiplex .....	5
1.5 Duplex – Párové a nepárové pásmo.....	6
1.5.1 Frekvenční duplex.....	6
1.5.2 Časový duplex.....	7
1.6 Generace .....	7
1.6.1 První generace – 1G.....	7
1.6.2 Druhá generace – 2G .....	8
1.6.3 Dvou a půltá generace – 2,5 G.....	8
1.6.4 Třetí generace – 3G .....	9
1.6.5 Čtvrtá generace – 4G.....	9
 <b>2 Technologie.....</b>	 <b>10</b>
2.1 CSD, HSCSD – Nejstarší typ přenosu dat.....	10
2.2 GPRS – První důležitý krok směrem k 3G .....	11
2.2.1 Použití a výhody GPRS.....	12
2.2.2 GPRS a budoucnost .....	14
2.3 EDGE.....	14
2.3.1 Kódování a modulace .....	14
2.3.2 Použití a výhody EDGE .....	16
2.4 CDMA a jeho varianty.....	17
2.4.1 CDMA .....	17
2.4.2 CdmaOne .....	18
2.4.3 CDMA2000.....	18



2.4.4 Multicarrier-CDMA.....	18
2.4.5 CDMA-450.....	18
2.4.6 W-CDMA .....	19
2.5 CDMA 1xEV-DO .....	19
2.5.1 Forward link .....	19
2.5.2 Adaptivní modulace .....	20
2.5.3 Reverse link.....	21
2.5.4 Modulační schéma .....	22
2.5.5 Výhody CDMA .....	23
2.6 W-CDMA .....	23
2.7 HSDPA .....	24
2.7.1 Rychlé plánování (Fast scheduling) .....	24
2.7.2 Adaptivní modulace a kódování.....	24
2.7.3 Rychlý opětný přenos (Fast retransmissions).....	25
2.7.4 Přínos HSDPA .....	25
<b>3 Srovnání technologií .....</b>	<b>26</b>
3.1 Služby technologií .....	26
3.2 Srovnání výkonu pro koncového uživatele.....	27
3.2.1 Rychlost.....	27
3.2.2 Latence (zpoždění) .....	27
3.2.3 Cena a pokrytí.....	28
3.2.4 Přínos jednotlivých technologií .....	29
3.3 Spektrální efektivita.....	29
<b>4 Mobilní technologie v oblastech světa .....</b>	<b>31</b>
4.1 Všeobecný přehled – Svět.....	31
4.2 Východní Asie – Japonsko, Korea.....	32
4.3 Evropa.....	34
4.3.1 Celkový náhled.....	34
4.3.2 Česká republika .....	37
4.4 Amerika – USA .....	38
<b>5 Aplikace .....</b>	<b>40</b>
5.1 Java 2 Micro Edition.....	40
5.2 Vývojové prostředí aplikace .....	40
5.3 Architektura aplikace .....	41
5.3.1 Popis metod.....	41
5.4 Uživatelské rozhraní aplikace .....	42
5.4.1 Hlavní menu.....	42
5.4.2 Stažení dokumentu, zobrazení výsledků .....	42
5.5 Test funkčnosti návrhu aplikace .....	44
<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>46</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozprostření buněk v mobilní síti .....	2
Obrázek 2: Jedna velká oblast rozdělená na tři buňky .....	3
Obrázek 3: Architektura mobilní sítě.....	4
Obrázek 4: Druhy multiplexů .....	6
Obrázek 5: Frekvenční (FDD) a časový (TDD) duplex.....	7
Obrázek 6: Možnost využití zbylé kapacity slotu skrze GPRS [6].....	13
Obrázek 7: EDGE modulace .....	15
Obrázek 8: Kódovací schéma pro GPRS a EDGE.....	15
Obrázek 9: Rozdělení Forward kanálu.....	19
Obrázek 10: Struktura Forward kanálu .....	20
Obrázek 11: Rozdělení Reverse kanálu .....	22
Obrázek 12: Udávaná doba zpoždění u jednotlivých technologií.....	28
Obrázek 13: Spektrální efektivita pro vybrané technologie.....	30
Obrázek 14: Počet komerčních sítí podle technologie – Svět.....	31
Obrázek 15: Podíl mobilních sítí pro oblast Asie-Pacifik.....	34
Obrázek 16: Podíl mobilních sítí na trhu pro oblast Evropy.....	37
Obrázek 17: Podíl zastoupení mobilních uživatelů pro oblast Ameriky .....	39
Obrázek 18: Komunikace mezi klientem a serverem .....	41
Obrázek 19: Úvodní a hlavní menu, zadání vlastní URL adresy.....	42
Obrázek 20: Zobrazení výsledků a dokumentů.....	43
Obrázek 21: Grafické zobrazení výsledků .....	43

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Systémy kódování GPRS a jejich rychlosti .....	12
Tabulka 2: Použití GPRS .....	13
Tabulka 3: Přenosové rychlosti EDGE .....	16
Tabulka 4: Vlastnosti EDGE.....	17
Tabulka 5: Schémata a typy modulací CDMA2000 EV-DO pro Forward link .....	21
Tabulka 6: Schémata a typy modulací CDMA2000 EV-DO pro Reverse link.....	22
Tabulka 7: HSDPA Rychlosti a –Modulation and cosiny schemes.....	25
Tabulka 8: Rychlostní požadavky aplikací .....	26
Tabulka 9: Srovnání rychlostí technologií .....	27
Tabulka 10: Srovnání schopností technologií.....	29
Tabulka 11: První 3G mobilní síť v Japonsku .....	32
Tabulka 12: Vybrané evropské země a jejich 3G sítě [15] .....	35
Tabulka 13: Růst mobilních zákazníků v Americe.....	38
Tabulka 14: Metody aplikace a jejich popis .....	41

## Seznam použitých zkratek

<b>1G</b>	1 <sup>st</sup> Generation – Sítě první generace
<b>2G</b>	2 <sup>nd</sup> Generation – Sítě druhé generace
<b>3G</b>	3 <sup>st</sup> Generation – Sítě třetí generace
<b>4G</b>	4 <sup>th</sup> Generation – Sítě čtvrté generace
<b>16QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation – Šestnáctistavová amplitudová modulace
<b>8PSK</b>	Eight-Phase-Shift Keying – Osmistavová fázová modulace
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying – Dvoustavová fázová modulace
<b>BTS, BS</b>	Base (Transceiver) Station – Základnová stanice
<b>CDMA</b>	CDMA, Code Division Multiplex – Časový multiplex
<b>CDMA 1xRTT</b>	CDMA Single-Channel Radio Transmission Technology – CDMA využívající kanál 1,25 MHz
<b>CDMA2000 1xEV-DO</b>	CDMA Single-Channel Evolution, Data Optimized – CDMA speciálně vyvíjené pro data
<b>CDMA2000 1xEV-DV</b>	CDMA Single-Channel Evolution, Data and Voice – CDMA speciálně vyvíjené pro data i hlas
<b>CLDC</b>	Connected Limited Device Configuration – Konfigurace pro J2ME
<b>CS</b>	Coding Scheme – Kódovací schéma
<b>CSD</b>	Circuit Switched Data – Okruhově spojovaná data
<b>D-AMPS</b>	Digital Advanced Mobile Phone System
<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for GSM/Global Evolution
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex – Frekvenční duplex
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiplex – Frekvenční multiplex
<b>GMSK</b>	Gaussian Minimum-Shift keying – Gausova fázová modulace
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>H-ARQ</b>	Hybrid Automatic Repeat Request – Hybridní automatický požadavek na opakování přenosu
<b>HSCSD</b>	High Speed Circuit Switched Data – Vysokorychlostní CSD
<b>HSDPA</b>	High Speed Downlink Packet Access

<b>HTTP</b>	Hyper Text Transfer Protocol – Internetový protokol
<b>iDEN</b>	Integrated Digital Enhanced Network
<b>J2ME</b>	Java Micro Edition
<b>JAR</b>	Java Archive – Java archiv
<b>LAN</b>	Local Area Network – Místní síť
<b>kbit/s</b>	Kilo Bits Per Second – Kilobit za sekundu
<b>Mbit/s</b>	Mega Bits Per Second – Megabit za sekundu
<b>MCS</b>	Modulation and Coding Scheme – Modulační a kódovací schéma
<b>MIDP</b>	Mobile Information Device Profile – Profil pro mobilní zařízení
<b>MS</b>	Mobile Station – Mobilní stanice, mobilní zařízení
<b>MSC</b>	Mobile Services Switching Centre – Centrální ústředna mobilní sítě
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephone System
<b>PDA</b>	Personal digital assistant – Malý kapesní počítač, ovládaný obvykle dotykovou obrazovkou a perem
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network – Veřejná telefonní síť
<b>QPSK</b>	Quadrature phase shift keying – Šestnáctistavová fázová modulace
<b>RNC</b>	Radio Network Controller – Řídicí jednotka rádiové sítě
<b>TDD</b>	Time Division Duplex – Časový duplex
<b>TDMA</b>	Time Division Multiplexing – Časový multiplex
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System – 3G systém koncipován jako nástupník systému GSM
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol – Přenos digitalizovaného hlasu pro Internetový protokol
<b>WAP</b>	Wireless Application Protocol – Protokol pro aplikace využívající bezdrátovou komunikaci
<b>W-CDMA</b>	Wideband – Code Division Multiple Access – Širokopásmové CDMA

# Úvod

Žijeme v době, kdy technický rozvoj zasahuje nejen do vyspělých odvětví průmyslu, ale i do každodenního života běžného člověka. Celková globalizace světa, se kterou souvisí vzájemné propojení hospodářství, ekonomiky i kultury, s sebou přináší stále aktuálnější potřebu komunikačního propojení na místní i celosvětové úrovni. Mobilní komunikace se stala nedílnou součástí našeho všedního života. V málokteré z oblastí technického pokroku je v poslední době patrný tak rychlý rozvoj jako v oblasti mobilních komunikací, spočívající v úsilí o co nejrychlejší přenos dat. Zorientovat se ve složitých technických principech tohoto prudce se rozvíjejícího odvětví není pro obvyčejného uživatele koncového zařízení vůbec jednoduché.

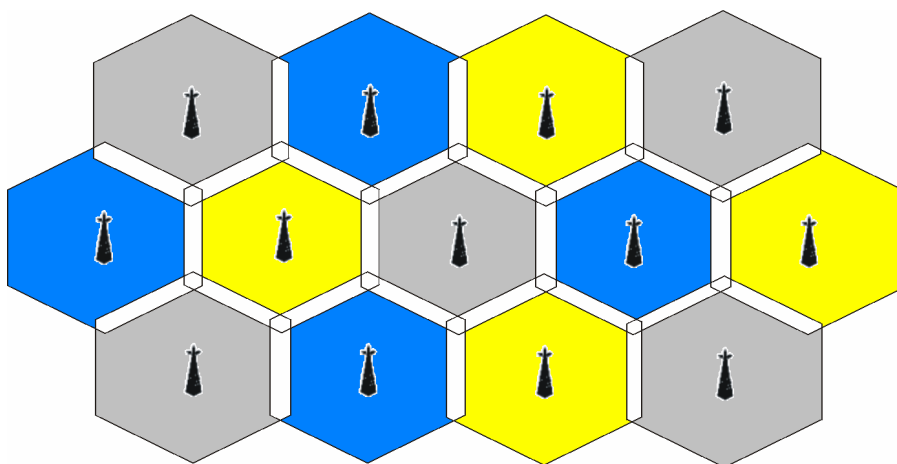
Cílem zadané práce je zdokumentovat a ozřejmit současný stav mobilních sítí s ohledem na nejvýznamnější světové oblasti. Práce je rozdělena do šesti základních kapitol. V první kapitole je provedeno rozdělení mobilních sítí, seznámení se základními vlastnostmi a stručný přehled vývoje jednotlivých generací z důvodu přiblížení dané problematiky. Druhá kapitola je věnována jednotlivým technologiím a jejich charakteristikám s ohledem na trvalou snahu vývojářů o zlepšování výkonnostních parametrů. Důraz v textu je kladen zejména na datové služby a jejich praktické využití. Třetí kapitola má za úkol popsat rozdíly v přenosových rychlostech technologií, v ostatních navazujících parametrech i v nabízených službách. Ve čtvrté kapitole jsou technické metody zpracování dat lokalizovány dle třech základních geografických oblastí (východní Asie, Evropa a Amerika). V předposlední, páté kapitole je popsán návrh praktické aplikace využívající dostupnou technologii. Poslední kapitola je věnována závěru práce.

# 1 Principy komunikace mobilních sítí a jejich Generace

## 1.1 Celulární princip

Mobilní telefonní síť používá ke svému provozu určité frekvence rádiových vln. Každý mobilní operátor má státním úřadem pověřeným správou frekvenčního spektra přidělenou licenci na využití frekvencí. Počet frekvencí je tedy omezený a operátor jich může získat pouze určitý počet.

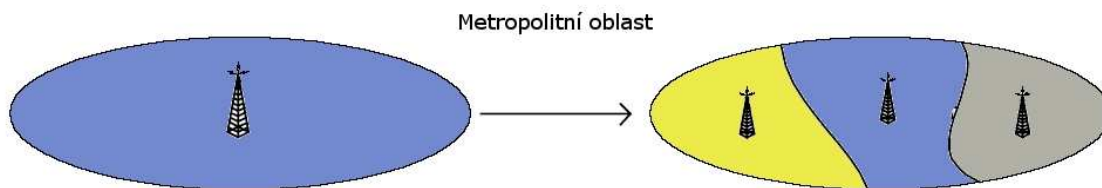
Do sítě se uživatel (zákazník) přihlašuje pomocí své *mobilní stanice* (mobilního zařízení v podobě telefonu, PDA, modemu v notebooku atd.) a tzv. *základnové BTS stanice* (Base Transceiver Station), jež je propojena s centrální sítí operátora. BTS stanice v dané oblasti zajišťují pokrytí a jsou zpravidla umístěny na vyvýšených místech terénu či na výškových budovách. Svým signálem (dosah kolem 5–50 km) pokrývají pouze omezené území, tzv. *buňku (cell)*. Proto je potřeba rozlehlejší území pokrýt pomocí většího počtu BTS stanic, které se na okrajích svých vykrývacích polí částečně překrývají. Celkovou síť tvoří řádově tisíce buněk (viz Obrázek 1). Pro model tvaru buňky se používá pravidelný šestiúhelník, v praxi se tvar přizpůsobuje členitosti krajiny a hustotě osídlení.



**Obrázek 1: Rozprostření buněk v mobilní síti**

V místech s vyšší koncentrací uživatelů (centra měst, nákupní centra, stanice metra atd.) je nutno použít více základnových stanic, neboť jedna BTS je schopna

obsloužit pouze omezený počet současně připojených uživatelů sítě. V těchto místech je více buněk a liší se v použití frekvenčního pásma a v rozestupech mezi kanály.



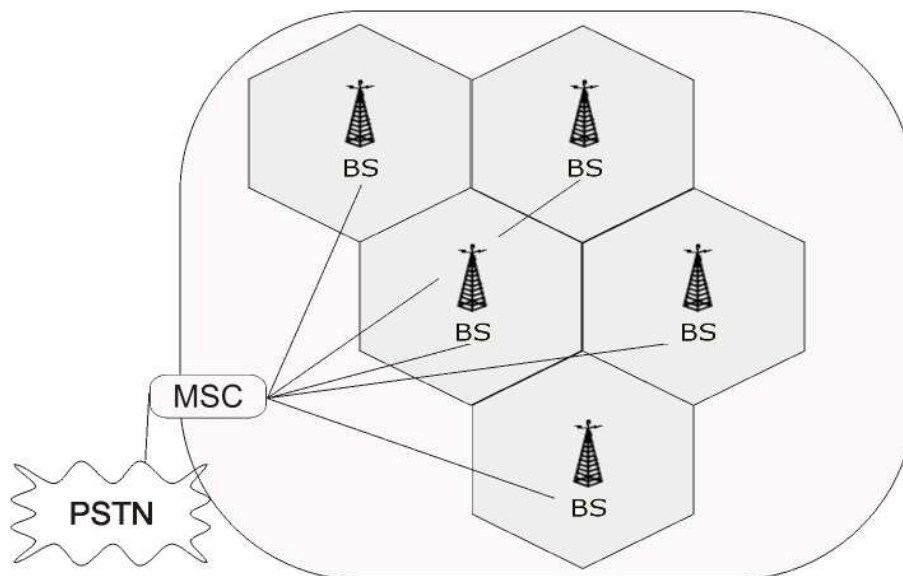
**Obrázek 2: Jedna velká oblast rozdělená na tři buňky**

Systém malých buněk nahrazuje jednotlivé velké a výkonné vysílače (velké buňky). To má za následek větší kapacitu sítě. Ale i přesto nelze zabezpečit, aby operátor mohl ke každému probíhajícímu hovoru přidělit ve své síti samostatný kanál. Proto jediným řešením je použít znovu stejné frekvence, které jsou využity i pro další hovory. Je ale důležité, aby nedocházelo k vzájemnému rušení hovorů při využívání shodných frekvencí. Jestliže v jedné buňce jsou použity určité frekvence, žádná z bezprostředně sousedících buněk již tyto frekvence nepoužívá.

Tento princip je dnes známý pod názvem *buňkový systém* (anglicky: cellular system). Území pokryté sítí se zjednodušeně podobá plástvi (viz Obrázek 1). Zde je názorně vidět, že teoreticky lze vystačit jen se třemi typy buněk využívajícími rozdílné frekvence (viz barevné rozlišení) a přitom pokrýt libovolně velké území [1].

## 1.2 Architektura sítě

Jak už bylo zmíněno, mobilní stanice (MS – Mobile Station) komunikuje s nejdostupnější základnovou stanicí (BTS – Base Transceiver Station, častěji používáno pouze BS – Base Station). Jednotlivé základnové stanice jsou mezi sebou propojeny a společně řízeny. Soustava všech základnových stanic mobilní sítě je napojena na centrální ústřednu (MSC – Mobile Services Switching Centre), kterou si lze představit jako analogii klasické telefonní ústředny z pevné sítě. MSC v tomto systému má za úkol zpracovávat, třídit a směřovat jednotlivé hovory mezi příjemci (uživateli) a zajišťuje komunikaci s veřejnou telefonní sítí (PSTN – Public Switched Telephone Network).



**Obrázek 3: Architektura mobilní sítě**

Mobilní sítě se mezi sebou odlišují svojí vnitřní strukturou v jednotlivých subsystémech pro zpracování dat a komunikací s dalšími okolními sítěmi.

### 1.3 Předávání signálu (Handover)

Jedním ze záměrů buňkového systému je, aby uživatelé zůstávali v nepřetržitém vzájemném spojení, i když se pohybují. Když se uživatel přemísťuje z jedné oblasti pokrytí (buňky) k další buňce, systém mu musí poskytnout trvalé spojení, a to i v případě, že dojde ke změně připojení k jiné základnové stanici. Tato operace se nazývá *handover*. Handover zahrnuje nejen identifikaci aktuální BTS, ale také kontroluje dostatečnost signálu a vzájemného spojení. Spojení je průběžně zajišťováno vždy tou BTS stanicí, jejíž signál je v daném místě nejsilnější, bez toho, že by byl hovor při pohybu uživatele přerušen [2].

### 1.4 Multiplex

V telekomunikaci používaný pojem *multiplex* znamená využití jednoho frekvenčního pásma pro přenos dvou nebo více samostatných a na sobě nezávislých přenosových kanálů. Používá se z důvodu velkého počtu uživatelů nacházejících se v dané buňce. Počet uživatelů je totiž často větší než počet dostupných kanálů, které slouží pro přenos jednotlivých hovorů. I když se opakovaně využije přidělených frekvencí v jednotlivých buňkách sítě (viz 1.1), většinou to nepostačuje k uskutečnění



všech hovorů. Proto je nutné i v rámci jednotlivých buněk vícenásobně využít dostupné frekvence [1]. Způsobů realizace multiplexu je více, uvedeme tři základní principy:

- frekvenční
- časový
- kódový

#### 1.4.1 Frekvenční multiplex

*Frekvenční multiplex* (FDMA, Frequency Division Multiplex) je založen na přímém rozdělení jednoho „širšího“ frekvenčního pásma na více „užších“ frekvenčních pásem, které mohou být používány samostatně a nezávisle na sobě. V daném čase je ke kanálu přiřazen pouze jeden účastník a BTS stále vyhledává volné kanály pro použití ke komunikaci. Ihned po skončení hovoru je kanál evidován jako volný. Nevýhodou je poměrně velká režie nutná k dostatečnému oddělení jednotlivých „užších“ pásem, a v důsledku toho relativně velká neefektivnost (ve využití „širšího“ frekvenčního pásma). Frekvenční multiplex je používán i v sítích digitálních, analogové sítě první generace (viz 1.6.1) však používají pouze FDMA.

#### 1.4.2 Časový multiplex

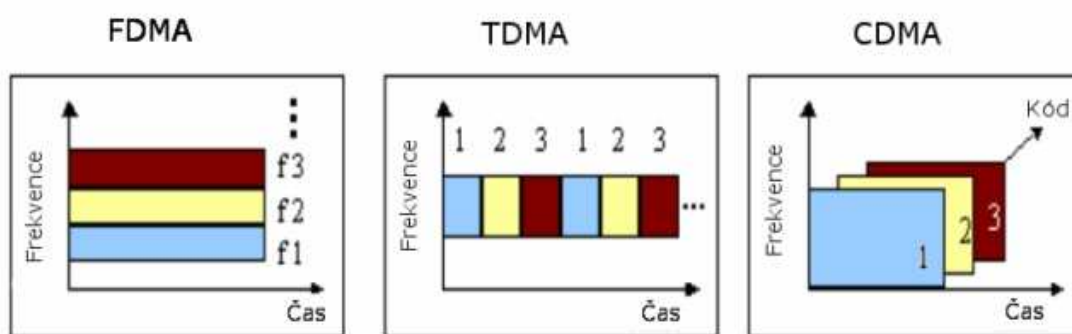
*Časový multiplex* (TDMA, Time Division Multiplexi) je již novější a digitální technika založená na možnosti rozdělení přenosu celého „širšího“ frekvenčního pásma v čase. Každý přenosový kanál využívá pásmo pouze na předem známou a definovanou dobu. Zjednodušeně si to lze představit asi tak, že po jistý krátký časový okamžik se celé frekvenční pásmo věnuje jen jednomu dílčímu přenosovému kanálu, pak druhému, třetímu atd. Tento proces se neustále cyklicky opakuje a připojení uživatelé se postupně střídají. TDMA je dominantní technologií multiplexu pro druhou generaci mobilních sítí (viz 1.6.2).

#### 1.4.3 Kódový multiplex

*Kódový multiplex* (CDMA, Code Division Multiplex) je také plně digitální. Při přenosu zde nedochází k dělení příslušného „širšího“ frekvenčního spektra. Celé frekvenční pásmo je využíváno pro potřeby všech dílčích přenosů. Potřebné „dělení“ je pak realizováno až v koncových zařízeních (přijímačích), které si dekodují jen to, co přísluší jimi používanému dílčímu přenosovému kanálu. Více sousedních základnových stanic může vysílat ve stejném frekvenčním pásmu a i přes jistou interferenci bude

možné síť bez větších problémů používat. Tento druh multiplexu je označován kódový právě proto, že jednotlivé dílčí přenosy jsou „zakódovány“ do jediného společného přenosu (který využívá celé frekvenční pásmo) pseudonáhodným kódem. Výhodou tohoto řešení je vysoká efektivnost využití dostupného frekvenčního pásma (díky tomu, že je využíváno celé). Veškerá složitost, která je spojena s realizací multiplexu, spočívá především na koncových zařízeních (vysílače BTS a mobilní stanice MS). CDMA má vysoké nároky na kapacitu těchto zařízení, neboť musí být schopny provádět potřebné kódování a dekódování. Koncová zařízení lze v průběhu vývoje bez předem stanovených omezení zdokonalovat, zatímco zvětšovat používané frekvenční rozsahy není možné. CDMA dovoluje plynulé předávání signálu (*soft handover*), což znamená, že mobilní zařízení může komunikovat s několika BTS současně.

Pro větší názornost a představu o zmíněných druzích multiplexu poslouží následující Obrázek 4.



Obrázek 4: Druhy multiplexů

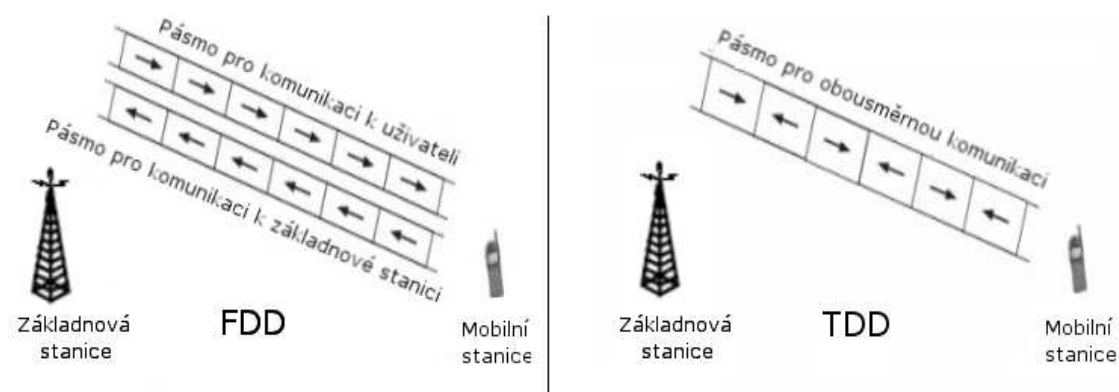
## 1.5 Duplex – Párové a nepárové pásmo

Odlišení mezi sítěmi je i v komunikaci mezi uživatelem a základnovou stanicí. Takzvaný *duplex* (komunikace v obou směrech) dělíme na frekvenční (FDD) a časový (TDD). Analogicky se bude rozdíl FDD a TDD podobat rozdílu mezi FDMA a TDMA [1].

### 1.5.1 Frekvenční duplex

*Frekvenční duplex* (FDD – Frequency Division Duplex) předpokládá použití dvou samostatných frekvenčních pásem pro jednotlivé směry. Proto se také hovoří o „párovém pásmu.“ Jedná se o dva stejně velké frekvenční rozsahy, které musí mít operátor k dispozici (viz Obrázek 5). Nevýhodou je, že obě části párového pásma jsou zpravidla stejně veliké, ale přenos v obou směrech stejný nebývá. Přenášený objem dat

ve směru ze sítě k uživateli (pro potřeby stahování) je podstatně vyšší než v opačném směru. z tohoto důvodu se stává, že se v jedné části párového pásma nedostává kapacity a ve druhé části naopak kapacity přebývá.



**Obrázek 5: Frekvenční (FDD) a časový (TDD) duplex**

### 1.5.2 Časový duplex

Technika *časového duplexu* (TDD – Time Division Duplex) vystačí s jedním rozsahem frekvencí, neboli s tzv. „nepárovým pásmem“. TDD rozděluje pásmo pro komunikaci v obou směrech prostřednictvím přepínání v čase. Po určitý časový okamžik jej používá v jednom směru a pak ve směru opačném. Celková dostupná kapacita se průběžně dělí mezi oba směry, podle momentální potřeby. Vhodná volba příslušných časových *slotů* (resp. časových intervalů) potom vede k efektivnějšímu využití kapacity. Problém však bývá se synchronizací a zpožděním.

## 1.6 Generace

Mobilní sítě jsou obecně z hlediska vývoje rozděleny do generací. V následujících odstavcích budou uvedeny základní vlastnosti a charakteristiky generací [1], [3], [4].

### 1.6.1 První generace – 1G

Hlavním znakem první generace mobilních systémů je analogový přenos a orientace výhradně na hlasové služby. Ze současného pohledu se jedná o překonané varianty, které byly zavedeny v 80. letech a později byly nahrazeny digitálními standardy druhé generace (2G). Tyto analogové systémy používaly z velké části frekvenční modulaci, přístupovou metodu FDMA a duplex FDD. Na počátku roku 1990 existovalo několik standardů těchto systémů se svými modifikacemi, které však nebyly navzájem kompatibilní. Z tohoto důvodu nebyl možný jakýkoliv *mezinárodní roaming*

(používání jednoho mobilního zařízení při mezinárodních pohybech účastníka). I přes mnohé nedostatky však vývoj trhu v této oblasti nestagnoval, ale naopak velmi rostl.

### 1.6.2 Druhá generace – 2G

Mobilní zařízení i sítě ze své první generace, založené na analogové technologii, postupně dospěly do své druhé generace využívající již technologii digitální. Sítě druhé generace se stále orientují především na hlasové služby. Za normálních okolností nejsou schopny přenášet data (e-maily, software, atd.), ale pouze digitální hlasový hovor s připojenými pomocnými daty (datum, čas). Systémy druhé generace byly navrhovány tak, aby byly co nejvíce odstraněny problémy zjištěné z provozu 1. generace. Jedná se tedy o pokročilejší způsob komunikace vyznačující se zejména:

- vyšší kapacitou
- velmi dobrou kvalitou přenosu hlasu
- vyšší odolností proti odposlechu a rušení
- možností mezinárodního roamingu
- větší kompatibilitou s pozemními (i družicovými) systémy
- větší nabídkou funkčních využití

S rozvojem těchto sítí se objevily další doplňující služby (SMS, datové přenosy, přesměrování hovorů, atp.). Sítě 2G jsou rozděleny do standardů založených na TDMA nebo CDMA v závislosti na typu použitého multiplexu:

- GSM (TDMA), pochází z Evropy, ale používán celosvětově
- IDEN (TDMA), používán v USA a Kanadě
- IS-136 neboli D-AMPS (TDMA, obecně označován jako TDMA v USA), používán v Americe
- IS-95 neboli CdmaOne, (CDMA, obecně označován jako CDMA v USA), používán v Americe a částech Asie
- PDC (TDMA), používán výhradně v Japonsku

### 1.6.3 Dvou a půltá generace – 2,5 G

Tato generace je chápána jako most mezi sítěmi druhé generace, které se orientují převážně na hlasové služby, a sítěmi třetí generace, které jsou zaměřeny především na služby datové. Nejde tedy o žádné nové systémy, ale o modifikované stávající technologie a technická zdokonalení, která se implementují do stávajících sítí.

Uživatelům je tak nabídnut rychlejší přenos dat. Zatímco technické podmínky pro 2G a 3G jsou dostatečně definovány, pro 2,5G není jednoznačný standard určen.

#### 1.6.4 Třetí generace – 3G

Jak bylo zmíněno v předešlém odstavci, sítě třetí generace (3G) se orientují převážně na data. Prochází jak technickými změnami, tak i vývojem služeb. Základním cílem 3G je, aby z jednoho mobilního zařízení mohlo probíhat více spojení zároveň (např. přenos hlasu a dat). Mezi další požadavky na 3G sítě patří:

- poskytování datových kanálů s přenosovou rychlostí minimálně 144 kbit/s až do 2 Mbit/s (přenos velkých objemů dat)
- zvýšení kvality hlasových služeb (až na úroveň CD kvality)
- možnost posílat multimediální zprávy
- vysoké zabezpečení proti odposlechu a proti neoprávněnému získávání dat třetí osobou
- integrace různých elektronických zařízení (multimediální telefon s kamerou a obrazovkou, fax atd.)
- flexibilita systému při implementaci nových služeb

Sítě 3G jsou schopny vyhovět i aplikacím velice náročným na šířku pásma, např. přenos videa, video-konference a plnohodnotný vysokorychlostní přístup na internet. Není však možné využít dosavadní sítě 2G, ale je nutné budovat nové sítě, což je technicky a ekonomicky náročné. Proto přechod na 3G není tak rychlý, jak se původně očekávalo. V současné době se zavádějí kombinace s 2G sítěmi. 3G pokrývají velká města a rychlostní komunikace, kde je relativně nejvíce zákazníků. Lze však předpokládat, že dostupnost 3G se bude postupně rozšiřovat.

#### 1.6.5 Čtvrtá generace – 4G

Přestože v mnoha zemích doposud nebyly zprovozněny sítě 3G, již se připravují standardy generace čtvrté (4G). Tyto sítě 4G by se již měly rychlostí přenosu dat (10 Mbit/s a více) vyrovnat nynějším pevným lokálním sítím. Jednou z důležitých myšlenek je vytvoření tzv. *vše-prostupujících* sítí, což znamená, že zařízení lze současně spojit pomocí několika bezdrátových přístupových technologií (nejen pomocí mobilní telekomunikační technologie) a souvisle se mezi nimi pohybovat bez ztráty připojení. Práce na 4G již nějaký čas probíhá, ale rozsah standardu není ještě zcela určen.

## 2 Technologie

Mobilní sítě jsou v závislosti na vývoji rozděleny telekomunikačními společnostmi do generací podle pevně stanovených podmínek. Síť je myšlena jako celek zajišťující komunikaci a spojení mezi uživateli. Tato kapitola je věnována výrobním postupům a prostředkům, které jsou obecně nazývány technologie. Konkrétně se budeme zabývat technologiemi, které zprostředkovávají přenos dat, a z toho vyplývajícími službami. Jejich členění je podle schopnosti plnění požadavků pro danou generaci mobilní sítě.

V současnosti můžeme v digitálních sítích přenášet data prostřednictvím technologie CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, CDMAOne. Se zaváděním nových sítí 3G, které jsou již od začátku vyvíjeny k podpoře vysokorychlostního přenosu dat, jsou nasazeny technologie CDMA2000, W-CDMA a HSDPA. Následující text, kde jsou jednotlivé technologie popsány, zachycuje pokrok technologií, který má za následek zvětšení výkonnosti a bezpečnosti, snižování latence, zlepšení požadované kvality a spektrální efektivity.

### 2.1 CSD, HSCSD – Nejstarší typ přenosu dat

Jedná se o základní typ přenosu, který vychází z přenosu hlasu. Datový přenos CSD (Circuit Switched Data – Okruhově Spojovaná Data) je založen na principu přepojování okruhů. Mezi příjemcem a odesílatelem vzniká souvislá přenosová cesta, tzv. kanál s vyhrazenou přenosovou kapacitou (jeden kanál pro příjem, druhý pro vysílání). Z provozu vyplynulo, že není potřeba věnovat tolik přenosové kapacity na opravu chyb, snížila se režie na provoz a díky tomu se původní datový tok 9,6 kbit/s podařilo zvýšit na 14,4 kbit/s. Na druhou stranu takovéto přenosy vyžadují kvalitnější signál.

Datové přenosy HSCSD (High Speed Circuit Switched Data, v doslovném překladu: Vysokorychlostní CSD) jsou zlepšenou formou technologie CSD. Pro jeden přenos lze najednou použít více slotů a dosáhnout tak v ideálním případě rychlosti až 115,2 kbit/s (při použití 8 slotů jednoho kanálu najednou).

Nevýhodou HSCSD je, že rychle vybíjí baterii zařízení a sloty zabrané pro přenos jsou blokovány po celou dobu spojení a nelze je již jinak využít. Tím se značně

snižuje kapacita sítě. Záleží proto na operátorovi konkrétní sítě, pro jaké kombinace slotů tzv. *tříd* se rozhodne.

Když se podíváme na dnešní využití, zjistíme, že služba poskytující tuto technologii je sice stále v nabídkách jednotlivých operátorů, ale poptávka je již minimální. A to proto, že se musí platit za celou dobu připojení, a dále pak z důvodu nízké datové propustnosti. Z důsledku výše uvedených omezení se již během následujícího textu k této technologii nebudeme vracet.

## 2.2 GPRS – První důležitý krok směrem k 3G

Zkušenost ukázala, že většina komunikujících aplikací nevyžaduje souvislý přenos dat. Uživatel může být připojen do sítě, ale tím není myšleno, že při tom zároveň přijímá či vysílá data. Přenos dat nemusí být symetrický. Toho využívá následující technologie *GPRS*.

GPRS (General Packet Radio Service) je technologie, při které jsou data přenášena v uzavřených celcích (*packetech*). Jedná se tedy o paketové přenosy v sítích (tím je nutná úprava systému, kdy stávající síť GSM musí být rozšířena o jednu další síť fungující na přepojování paketů). Princip založený na přepojování paketů je základní odlišností od CSD (resp. HSCSD). Data musí být před přenosem nejprve rozdělena na jednotlivé pakety. Ty jsou pak přenášeny vždy celé a musí být opatřeny vhodnou identifikací pro opětovné složení u příjemce [5].

GPRS pro přenos paketů může použít více slotů současně, v závislosti na tom, kolik jich má k dispozici. Proto je efektivní přenosová rychlost dosahovaná službou GPRS proměnná, což dále ovlivňuje i samotný princip přepravování paketů (ty se mohou například určitou dobu zdržet v některém z přepojovacích uzlů sítě na své cestě ke koncovému příjemci).

Rychlost ovlivňuje i tzv. třída GPRS. Čím vyšší třídu mobilní zařízení podporuje, tím rychlejší přenosy je možné získat. Dalším vlivem na rychlost přenosu je způsob kódování, které operátor používá. Mezi základní kódovací systémy patří CS1–CS4 (Coding scheme). V místech kvalitního pokrytí se používá rychlejší CS3 a CS4. Oproti tomu kódovací systém CS1 představuje nejbezpečnější způsob kódování s vysokou odolností proti chybám na rádiovém rozhraní. Kódovací systém CS4 je tudíž z pohledu odolnosti vůči chybám nejméně bezpečný, na druhou stranu však umožňuje dosáhnout nejvyšší přenosové rychlosti. Zjednodušeně řečeno, CS1 je určeno pro horší přenosové podmínky a CS4 do lokalit s nejlepší kvalitou signálu. Pro snadnější

představu je uvedena Tabulka 1, která zobrazuje dosahované rychlosti u jednoho time-slotu u jednotlivých druhů kódování a také maximální rychlosti, kterých lze dosáhnout pro odchozí a příchozí data.

Pro kódovací systém CS4 lze teoreticky dosáhnout uživatelské rychlosti systému GPRS na  $21,4 \times 8 = 171,2$  kbit/s (při využití osmi time-slotů). V praxi se pro GPRS využívají jen 3 až 4 sloty. Často se setkáváme s označením 3+1, 4+2, což znamená, že mobilní zařízení je schopno přijímat data pomocí 3 (resp. 4) slotů a odesílat data pomocí 1 (resp. 2) slotů. Ve skutečnosti se rychlost GPRS pohybuje okolo 30 až 50 kbit/s.

<b>Tabulka 1: Systémy kódování GPRS a jejich rychlosti</b>			
<b>Systém kódování</b>	<b>Maximální rychlost [ kbit/s] pro GPRS 4+2</b>		
	<b>pro jeden time-slot</b>	<b>k uživateli</b>	<b>od uživatele</b>
<b>CS1</b>	9,6	38,4	19,2
<b>CS2</b>	13,40	53,6	26,8
<b>CS3</b>	15,60	62,4	31,2
<b>CS4</b>	21,40	85,6	42,8

Abychom mohli využívat GPRS, musíme vlastnit zařízení (nejčastěji mobilní telefon nebo modem) podporující tuto technologii. Službu si musíme nechat aktivovat u svého mobilního operátora.

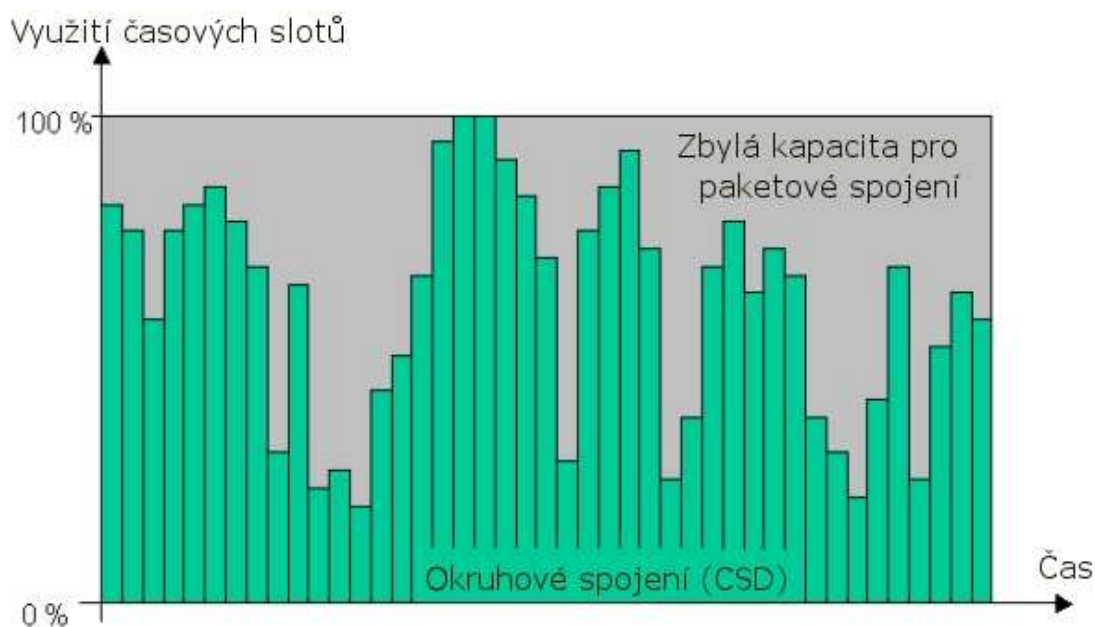
### 2.2.1 Použití a výhody GPRS

Rychlost je srovnatelná s běžnou telefonní linkou, což je vhodné zejména pro přenosy typu e-mail a přístupu ke klasickému internetu. WAP přes GPRS patří mezi využívané služby ve spojení s aplikacemi jako jízdními řády, zpravodajství atd. Další výhodou je možnost trvalého online připojení v kombinaci s kapesním počítačem. V průběhu spojení může být uživatel neustále v pohybu (např. cestovat autem). Spojení se ukončí na pokyn uživatele, nebo v případě opuštění území pokrytého signálem.

Pokud je uživatel připojen k síti, ale nepřenáší data, samotný čas připojení není zpoplatněn, baterie zařízení se nevybíjí. Pokud přijde e-mail či zpráva přes ICQ, dozví se uživatel o události téměř okamžitě. Další výhodou paketového přenosu GPRS spočívá v tom, že se stránka jednou načte a pak je k dispozici bez časového omezení. Jak již bylo zmíněno výše (1.6.2), jsou stávající 2G sítě operátorů v první řadě určeny pro přenos hlasu. Koncepce GPRS je taková, že systém nebude spotřebovávat



kapacitu využívanou hlasovým připojením. Velikost přenosu GPRS je stanovena volnou kapacitou, která přebývá v pásmu určeném pro hlasové přenosy, GPRS použije zbytek pásma, který by zůstal nepoužitý (viz Obrázek 6). Přenosová rychlost GPRS se průběžně může měnit a tudíž není garantována [6].



**Obrázek 6: Možnost využití zbylé kapacity slotu skrze GPRS [6]**

Hlasové hovory mají přednost a pokud v našem okolí bude telefonovat více lidí, musí se místní uživatel GPRS spokojit s nižší rychlostí přenosu dat. z těchto důvodů a z důvodu značného zpoždění při přenosu (až 600–800 ms) je GPRS na video-telefonování poměrně nevhodné. I přesto si GPRS nepochybně umí najít své uživatele pro svoji mobilitu a širokou dostupnost.

Možné služby poskytované prostřednictvím technologií GPRS jsou uvedeny v Tabulce 2.

<b>Tabulka 2: Použití GPRS</b>	
<b>Dostupné služby</b>	<b>Způsob využití</b>
Bezdrátová síť	Přenos souborů, e-mail, sdílení informací (např. pro LAN)
Internetové aplikace	Prohlížení www stránek, ICQ, video-telefonie, všeobecná dostupnost zpráv a událostí, síťové hry online, reklama
Hlas/Zvuk	Vysoce kvalitní hlas, hudba
Telemetrické aplikace	Vzdálené měření – elektroměry apod.
Specializované služby	Bezdrátové kamery pro bezpečnostní agentury, zjištění polohy

### 2.2.2 GPRS a budoucnost

Jak již bylo zmíněno, technologie GPRS sice umožňuje data přenášet relativně rychle, ale přenosová rychlost ještě stále není dostatečná. Další možností, jak GPRS zrychlit, je zavedení technologie EDGE (viz níže), která díky odlišnému způsobu modulace signálu je schopna dosáhnout rychlosti až 473 kbit/s.

## 2.3 EDGE

*EDGE* (Enhanced Data Rates for GSM/Global Evolution, v doslovném překladu zvýšené datové rychlosti pro vývoj GSM) představuje technologii, která je třikrát až čtyřikrát rychlejší než GPRS. Umožňuje existujícím TDMA sítím nabízet 3G služby, při nižších nákladech s větší efektivitou a s vyšší rychlostí přenosu dat.

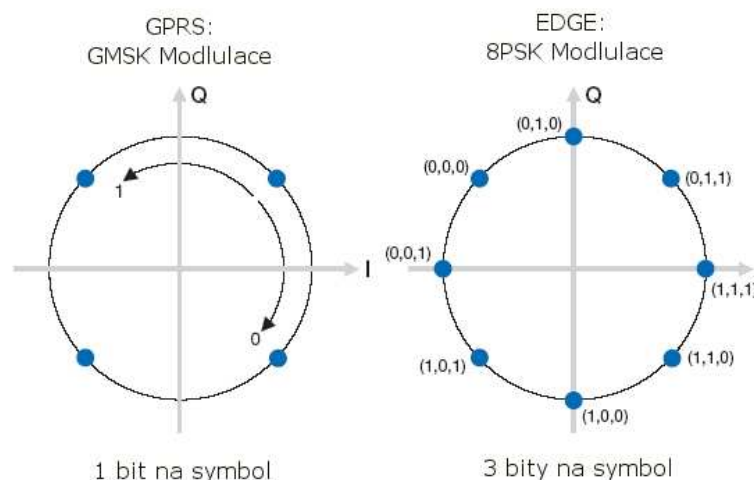
Nasazení EDGE ve stávajících TDMA sítích je relativně snadné, neboť EDGE zachovává stávající frekvenční pásma a kanály v sítích, ale mění způsob modulace. Původní dvoustupňovou modulaci GMSK (Gaussian Minimum-Shift keying) nahrazuje efektivnější osmistupňovou modulací 8PSK (Eight-Phase-Shift Keying). Díky tomu dosáhlo EDGE na 1 slot rychlosti 48 kbit/s, což při využití všech 8 slotů současně dává rychlost přenosu 384 kbit/s. Proto byla tato technologie dříve známa jako GSM384 a její vývoj začala firma Ericsson. Při dobrém signálu může být k dispozici i vyšší rychlost [7].

V každé buňce (resp. u každé základnové stanice) je nutná instalace softwarových upgradů. Konkrétní služba EDGE je velmi těžko rozlišitelná od samotného GPRS. Zda mobilní zařízení signál EDGE přijímá, není na displejích přístrojů na první pohled nijak poznat. Pokud uživatel přejde na území, kde není EDGE, ale jen GPRS, tak díky vzájemné kompatibilitě těchto technologií dojde k jejich plynulému přechodu, a tím pouze ke zpomalení přenosu. Ztráta spojení by neměla nastat.

### 2.3.1 Kódování a modulace

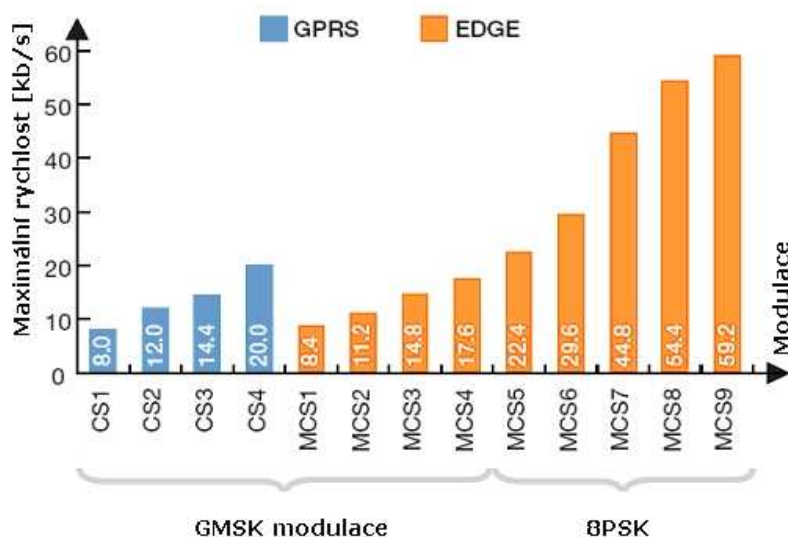
Pro GPRS jsou daná čtyři různá kódovací schémata, značená CS1 až CS4. Každé schéma obsahuje jiné kódování, které je optimalizováno dle určitého vnějšího prostředí (kvality signálu). Podobně je to i u EDGE. Zde je devět kódovacích schémat (Modulation and Coding Scheme, dále MCS) MCS1 až MCS9. Zatímco první čtyři se příliš neliší od schémat použitých u GPRS, MCS1 až MCS4 jsou založena na GMSK.

U schémat MCS5 je použita nová osmistavová modulace 8PSK (Eight-Phase-Shift Keying).



**Obrázek 7: EDGE modulace**

V případě využití modulace 8PSK namísto GMSK se zvýší přenosová rychlost na trojnásobek, protože GMSK je dvoustavová a 8PSK je osmistavová ( $2^1$  proti  $2^3$ ). Modulace 8PSK je náchylnější na šum z důvodu menších vzdáleností bodů detekce v konstelačním diagramu (viz. Obrázek 7). Kvalita dnešních přijímačů umožní využít právě vícecestavových modulací. Pouze u nekvalitních přijímačů náchylných na šum systém EDGE automaticky použije modulaci GMSK. Zvýšení rychlosti v závislosti na kódovacím schématu je vidět na Obrázku 8 [6].



**Obrázek 8: Kódovací schéma pro GPRS a EDGE**

V praxi je rychlost nižší, ale toto snížení není výrazné. Během jednoho datového přenosu může být nabídnuto až 8 time-slotů současně, což dává teoretickou maximální přenosovou rychlost až 473,6 kbit/s. EDGE je velice choulostivé na přenosové podmínky, a tak rychlost přenosu dat závisí především na vzdálenosti mobilního zařízení od vysílače signálu. Vliv má také aktuální vytíženost sítě. Reálná rychlost připojení se proto průměrně pohybuje mezi 100–150 kbit/s.

<b>Tabulka 3: Přenosové rychlosti EDGE</b>				
<b>MCS</b>	<b>Modulace</b>	<b>Maximální rychlost [kbit/s]</b>		
		<b>1 time-slot</b>	<b>4 time-sloty</b>	<b>8 time-slotů</b>
MCS-1	GMSK	8,8	35,2	70,4
MCS-2	GMSK	11,2	44,8	89,6
MCS-3	GMSK	14,8	59,2	118,4
MCS-4	GMSK	17,6	70,4	140,8
MCS-5	8PSK	22,4	89,6	179,2
MCS-6	8PSK	29,6	118,4	236,8
MCS-7	8PSK	44,8	179,2	358,4
MCS-8	8PSK	54,4	217,6	435,2
MCS-9	8PSK	59,2	236,8	473,6

### 2.3.2 Použití a výhody EDGE

S EDGE směřuje GSM směrem k osobním multimédiím. Došlo ke zrychlení všech existujících okruhových i paketových služeb a vznikly nové vysokorychlostní datové aplikace, zahrnující e-mail a mobilní dosažitelnost internetu, popřípadě video-telefonování. EDGE neurychluje pouze přístup k internetu, ale umožňuje výrazné zvýšení rychlosti i pro služby jako MMS, WAP či při stahování JAVA her, melodií apod. EDGE umožňuje všechny aplikace jako GPRS, s tím rozdílem, že přenos dat je řádově třikrát rychlejší.

Pomocí EDGE je možné dosáhnout velice kvalitního pokrytí (totožného s dosavadními sítěmi 2G) s podstatně nižší finanční náročností pro operátora (než např. zřizovat síť UMTS). Jelikož technologie EDGE je „nadstavbou“ GPRS, není nutné stavět další nové vysílače, a tudíž není potřeba školit nové techniky (kromě modulace se

téměř nic nemění). Nepříjemným „dědictvím“ technologie EDGE je zachování téměř stejné rychlosti odezvy, jako nabízí GPRS, tedy kolem 600 ms.

<b>Tabulka 4: Vlastnosti EDGE</b>	
<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
3x rychlejší než GPRS	Negarantovaná přenosová rychlost
Trvalé připojení	Velké zpoždění při přenosu dat
Jednoduchý přístup k Internetu. e-mailu, hudbě...	Dosahovaná přenosová rychlost klesá se vzdáleností od základnové stanice
Mobilita	
Nižší finanční náročnost na zřízení	Malá spolehlivost
Možnost využití stávajících vysílačů	Nepostačující pro vývoj v dané oblasti
Možnost dosáhnout stejného pokrytí jako u dosavadních 2G sítí	

I když EDGE nabízí vysokorychlostní datové přenosy, je v současné době implementována v sítích, které byly původně určeny pro přenos hlasu. Proto není schopna zabezpečit rychlé datové spojení všem svým uživatelům najednou. Mimo jiné i pro odstranění tohoto nedostatku se zřizují sítě třetí generace (3G). Je možné konstatovat, že EDGE je posledním krokem vylepšování systémů 2G, před zaváděním sítí 3G.

## 2.4 CDMA a jeho varianty

Jedná se o technologii vyvinutou americkou společností Qualcomm, která využívá kódový multiplex<sup>1</sup> (CDMA). Jak již bylo zmíněno, dokáže na jednom komunikačním kanálu přijímat signály od více vysílačů najednou a následně jednotlivé signály od sebe odlišit [8].

### 2.4.1 CDMA

CDMA se často (hlavně v kontextu USA) používá jako souborné označení, kterým se vymezují CdmaOne a CDMA2000 sítě vůči GSM a TDMA. Často se ale také lze setkat s použitím termínu CDMA ke specifickému označení 2G CDMA sítí, tedy ve významu shodném s CdmaOne.

<sup>1</sup> Označení CDMA se vztahuje jak názvu systému (sítě), tak i k druhu multiplexu, což je často zavádějící.

### 2.4.2 CdmaOne

CdmaOne je souhrnné označení pro systémy dle standardu IS-95 (včetně jeho revizí IS-95A a IS-95B). Bylo zavedeno v důsledku potřeby označení technologií předcházejících generaci CDMA2000. Specifikace zahrnují kombinovaný přenos hlasu a dat (v revizi B až 64 kbit/s). V současné době většina operátorů přechází od CdmaOne sítí k CDMA2000.

### 2.4.3 CDMA2000

CDMA2000 je soubor 3G standardů, v současné době zahrnuje:

- 1xRTT – hlas, data rychlostí až 144 kbit/s<sup>2</sup> nebo 307 kbit/s<sup>3</sup>
- 1xEV-DO – Data Optimized (optimalizováno pro data) – až 2,4 Mbit/s
- 1xEV-DO Revize A – data rychlostí až 3,1 Mbit/s, podpora VoIP

Do budoucna se počítá s několika 1xEV-DO fázemi Revize B, kde každá fáze představí větší funkčnost, a bohatší vlastnosti. Také se pracuje na verzi 1xEV-DV (hlas, data až 3,1 Mbit/s). k dosažení vyšší rychlosti se mluví i o variantách 2x a 3x sdružujících patřičný počet 1,25 MHz úseků. Zatím se však nepracuje na jejich vývoji.

### 2.4.4 Multicarrier-CDMA

Multicarrier-CDMA je souhrnné označení pro CDMA systémy s odstupem kanálů 1,25 MHz (a zahrnující tedy jak CdmaOne, tak i CDMA2000). Používá se hlavně v souvislosti s odlišením od W-CDMA technologií. V obdobném smyslu se někdy používá i zavádějící označení narrowband CDMA.

### 2.4.5 CDMA-450

CDMA-450 slouží ke krátkému označení CDMA2000 sítí v pásmu 450 MHz (zejména pro publicistické a marketingové potřeby). Je třeba podotknout, že CDMA-450 není pevně definovaná technologie. Specifikace týkající se pásma 450 MHz jsou začleněny do rámce CDMA2000 standardů. V rámci 450 MHz tedy mohou být implementovány 1xRTT, 1xEV-DO i 1xEV-DV sítě.

---

<sup>2</sup> Release 0

<sup>3</sup> Release1

## 2.4.6 W-CDMA

W-CDMA je standard používající odstup kanálů 5 MHz. Jde o jednu ze dvou UMTS technologií (pro 3. generace sítí GSM), druhou je TD-(S)CDMA.

## 2.5 CDMA 1xEV-DO

Verze *CDMA 1xEV-DO* (Single Channel Evolution, Data Optimized) je optimalizovaná pro přenos dat. Dosahované přenosové parametry této technologie ji předurčují k využití pro rychlý přístup k Internetu, a proto systém nabízí asymetrický přenos dat. Maximální přenosová rychlost připadající na jeden sektor ve směru k uživateli (tzv. *Forward Link – dopředný kanál*) činí maximálně 2,46 Mbit/s a využívá se pro tento směr přenosu již zmíněný mnohonásobný přístup CDMA, ovšem v kombinaci s časovým dělením TDMA. Reálná přenosová rychlost se však pohybuje mezi 600 kbit/s–1 Mbit/s V opačném směru (tzv. *Reverse link*) lze přenášet data rychlostí až 153,6 kbit/s, ale využívá se zde pouze techniky přístupu CDMA. [9].

### 2.5.1 Forward link

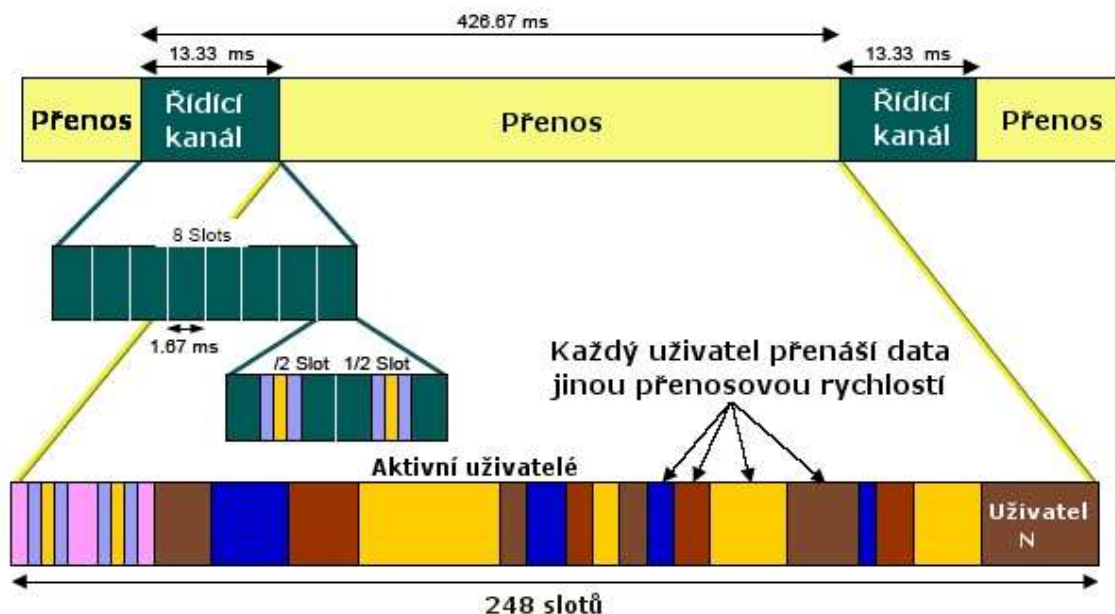
Systém 1xEV-DO není systémem postaveným pouze na bázi technologie CDMA, ale pro Forward link je využito i časově děleného multiplexu TDMA. Forward link je tedy sdílen všemi uživateli současně a průběh signálu je rozprostřen do 1,25 MHz širokého pásma.



**Obrázek 9: Rozdělení Forward kanálu**

V rámci Forward linku jsou časově multiplexované následující kanály:

- *Pilotní kanál* (Pilot Channel) přenáší nemodulovaný pilotní signál, mobilní zařízení následně tento signál používá k časování
- *Kanál pro řízení přístupu* (Forward Medium Access Control Channel)
- *Přenosový kanál* (Traffic Channel) nese uživatelská data
- *Řídicí kanál* (Control Channel) přenáší řídicí informace a zprávy, případně může nést i uživatelská data



Obrázek 10: Struktura Forward kanálu

Datové spojení je uspořádáno tak, aby se využila maximální propustnost dat daného sektoru. z toho důvodu vysílače vždy přenášejí na plný výkon a obsluhují v daný okamžik pouze jednoho uživatele. Nejsou předem pevně určené časové úseky a doba obsazení kanálu uživatelem závisí na *kanálových podmínkách* (C/I – Carrier-to-interference ratio).

Forward link je vymezen úsekem neboli rámcem o délce 26,67 ms. Uvnitř tohoto rámce je 16 slotů, což odpovídá době 1,67 ms. Jednotlivé rámce se dělí do dvou částí (polovin) po 8 slotech a každý slot je opět rozložen na polovinu. V každém slotu jsou za pomoci časového multiplexu umístěny již zmíněné sub-kanály. Z Obrázku 10 je patrné, že sloty přidělené jednotlivým uživatelům nemají předdefinovanou délku trvání.

### 2.5.2 Adaptivní modulace

Forward link nabízí značný rozsah různých přenosových rychlostí, viz Tabulka 5. Mobilní zařízení neustále měří poměr C/I, na jehož základě si každých 1,67 ms vyžádá odpovídající přenosovou rychlost. Základnová stanice tento požadavek přijme a zakóduje data na stanovenou rychlost, kterou daný kanál podporuje.

1xEV využívá paralelní a *turbo kódovací techniky*, což zlepšuje využití velikosti rámců. Pro forward kanály se používá *kódování s poměrem*  $R = 1/5$  a  $1/3$ . Kódovací poměr má vliv na maximální dostupnou rychlost. Dostatečné rozpětí přenosových parametrů umožňuje zařízení přenášet a dekódovat data s minimální chybou.

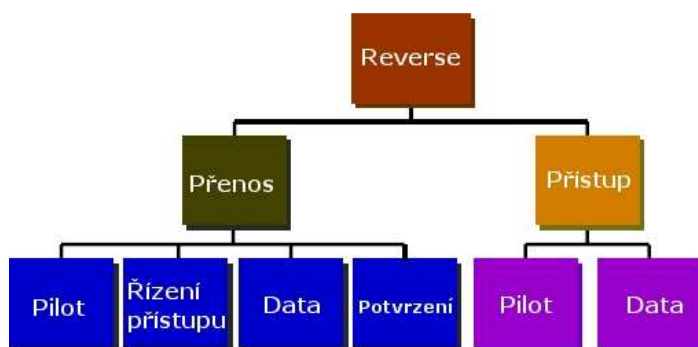


<b>Tabulka 5: Schémata a typy modulací CDMA2000 EV-DO pro Forward link</b>					
<b>Přenosová rychlost (kbit/s)</b>	<b>Typ modulace</b>	<b>Počet bitů na paket</b>	<b>Kódový poměr</b>	<b>Délka paketu (ms)</b>	<b>Obsazené sloty</b>
38,4	QPSK	1024	1/5	26,67	16
76,8	QPSK	1024	1/5	13,33	8
153,6	QPSK	1024	1/5	6,67	4
307,2	QPSK	1024	1/5	3,33	2
307,2	QPSK	2 048	1/3	6,67	4
614,4	QPSK	1024	1/3	1,67	1
614,4	QPSK	2 048	1/3	3,33	2
921,6	8PSK	3 072	1/3	3,33	2
1 228,8	QPSK	2 048	1/3	1,67	1
1 228,8	16QAM	4 096	1/3	3,33	2
1 843,2	8PSK	3 072	1/3	1,67	1
2 457,6	16QAM	4 096	1/3	1,67	1

Žádost o přidělení rychlosti je vysílána v opačném směru (tedy na Reverse linku) prostřednictvím *kanálu DRC* (Data Rate Control) pomocí tzv. *DRC indexu* (ukazatele), který specifikuje nejen rychlost, ale také modulaci, kódování, délku preamble a maximální počet slotů tak, jak definuje výše uvedená Tabulka 5.

### 2.5.3 Reverse link

Reverse link je založen na pevné struktuře (16 slotů během 26,67 ms), jež je odlišná od Forward linku, který umožňuje variabilně měnit každých 1,67 ms modulační schéma. Systém na Reverse linku nabízí přístupovému terminálu data s přenosovou rychlostí v rozmezí od 9,6 kbit/s do 153,6 kbit/s.



Obrázek 11: Rozdělení Reverse kanálu

Složení kanálu se dělí na:

- *přenosový* (Traffic Channel)
- *přístupový* (Access Channel)

Zmíněný přenosový kanál se skládá z kanálu pilotního, kanálu řízení přístupu, datového kanálu a kanálu pro potvrzení. Přístupový kanál zahrnuje kanál pilotní a datový, viz Obrázek 11. Mobilní zařízení může využít přístupový kanál v rámci inicializace komunikace s přístupovou sítí nebo k odpovídající odezvě na řídicí informace. Přenosový kanál je využíván pro přenos uživatelských dat nebo signalizačních informací směrem k přístupové síti.

#### 2.5.4 Modulační schéma

Podobně jako tomu bylo na Forward linku, i Reverse link podporuje několik přenosových rychlostí. Modulace je pro všechny varianty přenosových rychlostí shodná. Kódový poměr je  $R = 1/4$  a  $1/2$ , viz následující Tabulka 6 zohledňující parametry, které umožňují dosažení různých přenosových rychlostí.

Tabulka 6: Schémata a typy modulací CDMA2000 EV-DO pro Reverse link					
Přenosová rychlost (kbit/s)	Typ modulace	Počet bitů na paket	Kódový poměr	Délka paketu (ms)	Obsazené sloty
9,6	BPSK	256	1/4	26,67	16
19,2	BPSK	512	1/4	26,67	16
38,4	BPSK	1024	1/4	26,67	16
76,8	BPSK	2 048	1/4	26,67	16
153,6	BPSK	4 096	1/2	26,67	16

### 2.5.5 Výhody CDMA

Výhodou CDMA je velký dosah signálu od základnové stanice, až 60 km, a výborné vlastnosti pro pokrytí v členitém terénu i uvnitř budov. Může být implementováno do různých frekvenčních pásem. Protože se o jedno pásmo dělí více uživatelů, je pravděpodobné, že v méně zabydlených oblastech bude připojení velmi rychlé. Dosahovaná přenosová rychlost je výrazně vyšší než v předchozích případech, neměla by poklesnout pod 256 kb/s. Přenosová rychlost však není garantována. Avšak e-maily lze přijmout téměř okamžitě, dokonce i s většími přílohami. Výhodou je také trvalé připojení, mobilita, relativní stabilita připojení, vyšší hodnota uploadu a rychlejší odezva (v rozmezí 130–270 ms). Bylo by dobré připomenout, že CDMA2000 1xEV a další nové revize této technologie jsou zpětně kompatibilní se systémy CDMA2000 1x a CdmaOne. CDMA je vhodné používat pro přenos středních objemů dat při zachování požadavku na dostupnost a mobilitu služeb.

## 2.6 W-CDMA

W-CDMA (Wireband–Code Division Multiple Access, v překladu širokopásmové CDMA) je jedna z technologií vyvinutá již pro sítě 3G. Jak již bylo zmíněno, W-CDMA používá šířku kanálu 5 MHz. Této technologii využívá systém UMTS a je preferovaný v oblastech, které používaly systém GSM. Výkon se proti 2G systémům zvýší až desetkrát, současně je ale nutné zabezpečit potřebnou kompatibilitu.

W-CDMA podporuje jak časový duplex (TDD), tak i frekvenční (FDD). W-CDMA podporuje konvoluční, kanálové a turbo kódování.

Maximální teoretická rychlost je 2 Mbit/s, dosažená kombinováním 3 kanálů po 768 kbit/s. Tato rychlost je dále zvýšená technologií HSDPA, která bude zmíněna níže. Přesná výkonnost však závisí na velikosti kanálů (které operátor zpřístupní), schopnosti zařízení a počtu aktivních uživatelů v síti. Typická rychlost pro Downlink je řádově 220–320 kbit/s. Komerční sítě udávají rychlost 384 kbit/s. Rychlost pro Uplink se reálně pohybuje kolem 64 kbit/s, což postačuje pro většinu komunikačních aplikací.

W-CDMA má významně nižší *latenci* (zpoždění mezi jednotlivými přenosy) než GPRS/EDGE, a to 200–300 ms. V dnes provozovaných sítích, díky pečlivé plánovací a síťové optimalizaci, je možné dosáhnout hodnoty pod 200 ms [10].

Použití této technologie znamená vysoké využití frekvenčního pásma pro hlas (konferenční hovory) i data (schopnost přenášet větší objem), multimediální přenosy, včetně video-hovorů a IP telefonie.

## 2.7 HSDPA

Technologie *HSDPA* (High Speed Downlink Packet Access), označována jako 3,5G, představuje výkonnou aktualizaci technologie W-CDMA pro paketová data. Dosahuje maximální rychlosti až 14 Mbit/s. Průměrný výkon se zvětší průměrně na hodnotu kolem 1 Mbit/s, což je přibližně třikrát více než W-CDMA.

HSDPA je plně kompatibilní s aktuálními W-CDMA sítěmi, což je efektivní vzhledem ke způsobu aktualizace existující infrastruktury. HSDPA je založeno na několika inovacích architektury sítě, díky kterým se dosahuje nižšího zpoždění, rychlejších reakcí na změnu kvality kanálu a zpracování automatického požadavku na opakování přenosu. To umožňuje skutečný trh s mobilními IP multimédii.

HSDPA zlepšuje výkonnost sítě a zvyšuje uživatelské rychlosti přenosu dat ve Forward linku. Jak je uvedeno v [11], tohoto zlepšeného výkonu je dosaženo díky použití:

- Rychlé plánování funkce, která je řízena více v základnové stanici (NodeB<sup>4</sup>) než v rádiové části (RNC – Radio Network Controller)
- Adaptabilní modulace a kódování
- Rychlý opětný přenos

### 2.7.1 Rychlé plánování (Fast scheduling)

Plánování přenosu rychlých dat se u HSDPA provádí blíže k uživateli, a to přímo na základnové stanici. HSDPA využívá zpětnou informaci od zařízení o jeho schopnostech, o kvalitě kanálu, požadavcích na kvalitu služby, tak aby NodeB přesněji plánovala a přenášela data.

### 2.7.2 Adaptivní modulace a kódování

Schopnost rychlého plánování HSDPA lze výhodně zúročit pomocí adaptivní modulace a kódování, díky čemuž se k uživateli dostane maximální možná rychlost dat, s jakou si linka jeho kvality dokáže poradit. Modulační a kódovací schémata jsou dynamicky měněna podle kvality rádiové linky, zatímco výkon zůstává konstantní. Kódový poměr může nabývat hodnot v rozmezí 1/4–3/4. Specifikace HSDPA zahrnuje použití až 15 nově definovaných transportních kanálů. Kromě modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), kterou používá W-CDMA, nabízí HSDPA modulaci

---

<sup>4</sup> Označení pro základnovou stanici v sítích třetí generace

16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), která je výkonnější, ovšem jen v příznivějších podmínkách [12].

<b>Tabulka 7: HSDPA Rychlosti a –Modulation and cosiny schemes</b>					
<b>MCS</b>	<b>Modulace</b>	<b>Kódový poměr</b>	<b>Přenosová rychlost</b>		
			<b>pro 5 kanálů</b>	<b>pro 10 kanálů</b>	<b>pro 15 kanálů</b>
1	QPSK	1/4	600 kbit/s	1,2 Mbit/s	1,8 Mbit/s
2		2/4	1,2 Mbit/s	2,4 Mbit/s	3,6 Mbit/s
3		3/4	1,8 Mbit/s	3,6 Mbit/s	5,4 Mbit/s
4	16 QAM	2/4	2,4 Mbit/s	4,8 Mbit/s	7,2 Mbit/s
5		3/4	3,6 Mbit/s	7,2 Mbit/s	10,7 Mbit/s
6		3/4	4,8 Mbit/s	9,6 Mbit/s	14,4 Mbit/s

### 2.7.3 Rychlý opětový přenos (Fast retransmissions)

Pokud se nepodaří dekodovat přenášená data, MS okamžitě požaduje opětové přenesení, tzv. *retransmisi*. Zatímco dříve byla retransmise požadována od RNC, v HSDPA je prováděna už v základnové stanici. Retransmisi základnová stanice nabídne přímo ze svého vyrovnávacího buferu, takže k ní dojde velmi rychle bez čekání na data uložená hlouběji v síti.

### 2.7.4 Přínos HSDPA

Technologií HSDPA se podařilo dosáhnout snížení latence. Výrobci garantují jakousi minimální dobu, která je 150 ms. Tento údaj je spíše orientační. Ve skutečnosti, při rovnoměrně zatíženém kanálu, se doba prodlevy pohybuje trochu výše. Vývojáři plánují použít HSDPA spíše na přenos velkého objemu dat než na hraní multiplayerových her, kde je rychlost odezvy nejdůležitějším parametrem. Technologie může být přínosem pro běžné prohlížení Internetu, při stahování velkých balíčků dat či streamované video.

## 3 Srovnání technologií

Po představení a popsání činnosti různých technologií se následující část studie, vycházející z předchozí kapitoly zabývá jednoduchým srovnáním základních parametrů. Pro předmět zkoumání lze použít hlediska výkonu technologie pro koncového uživatele nebo spektrální efektivitu (doslova celkové propustnosti sítě). Nejdříve však shrňme možnosti a dostupné služby.

### 3.1 Služby technologií

GPRS, EDGE, CDMA, W-CDMA, HSDPA nabízí rostoucí řadu schopností, podporujících stále náročnější aplikace. GPRS, nyní globálně dostupná technologie, je již schopna zajistit množství aplikací, jako jsou odesílání zpráv, použití e-mailu, přístup k webovým stránkám. EDGE významně rozšiřuje zdatnost a výkon GPRS. EDGE společně s CDMA2000 1xRTT umožňují bohatší využití Internetu, aplikace s potřebou spojitého přenosu a více multimediálních aplikací. Uživatelé HSDPA a CDMA2000 1xEV-DO Rev A se mohou těšit na video-telefony, velmi kvalitní hudbu, bohaté multimediální aplikace a účinný přístup k podnikovým aplikacím.

Je důležité si uvědomit potřeby zákazníků vyplývající z těchto dostupných služeb. Samozřejmě potřeba je pokrytí signálem, vysoká propustnost dat a bezpečnost. Ne tak důležitý parametr, ale zásadní pro efektivní chování aplikací, je nízká latence, požadovaná kvalita, kontrola a spektrální efektivita [12].

V Tabulce 8 jsou zmíněny rychlostní požadavky nutné pro různé aplikace.

<b>Tabulka 8: Rychlostní požadavky aplikací</b>	
<b>Služba</b>	<b>Požadovaná rychlost</b>
Microbrowsing (například WAP)	8–32 kbit/s
Multimediální zprávy	8–64 kbit/s
Video-telefonie	64–384 kbit/s
Běžné používání Internetu a prohledávání webových stránek	32–384 kbit/s
Podnikové aplikace zahrnující e-mail, databázový přístup, virtuální soukromá síť	32–384 kbit/s
Video a audio spojitý přenos	32–384 kbit/s

Jak je možné si povšimnout, GPRS již splňuje požadavky mnoha aplikací. S novějšími technologiemi jsou aplikace rychlejší a zvětšuje se rozsah podporovaných aplikací.

## 3.2 Srovnání výkonu pro koncového uživatele

### 3.2.1 Rychlost

Rychlost přenosu dat zmíněných technologií se nachází v následující Tabulce 9.

<b>Tabulka 9: Srovnání rychlostí technologií<sup>5</sup></b>		
	Maximální teoretická rychlost stahování	Reálná rychlost k uživateli
GPRS <sup>6</sup>	107 kbit/s	30–50 kbit/s
CDMA2000 1xRTT <sup>7</sup>	153 kbit/s	50–70 kbit/s
EDGE	473 kbit/s	100–130 kbit/s
W-CDMA	2 Mbit/s <sup>8</sup>	220–320 kbit/s
CDMA2000 1xEV-DO <sup>7</sup>	2,4 Mbit/s	400–700 kbit/s
CDMA2000 1xEV-DO REVA	3,1 Mbit/s	nepatně více než EV-DO
HSDPA	14 Mbit/s <sup>9</sup>	550–1100 kbit/s <sup>10</sup>

### 3.2.2 Latence (zpoždění)

Latencí se rozumí čas, který si vyžádá přenos dat od/do mobilní stanice v rámci sítě. Služby náročné na zpracování v reálném čase, jako je streamování videa, online hry nebo Internetová telefonie (VoIP), vyžadují časově harmonizovaný příchod paketů. Vývojem každé novější technologie se stále snižuje hodnota zpoždění. U HSDPA se očekává latence blížící se k 100 ms, viz Obrázek 12.

<sup>5</sup> Průměrná rychlosti technologie závisí na velikosti vytížení sítě a na možnostech jednotlivých operátorů a konfigurací jejich sítí. Předpovědi průměrné rychlosti jsou založeny na několika různých předpokladech, které se s odlišným zdrojem mohou měnit. Proto srovnávat parametry přímo z různých zdrojů může být někdy zavádějící.

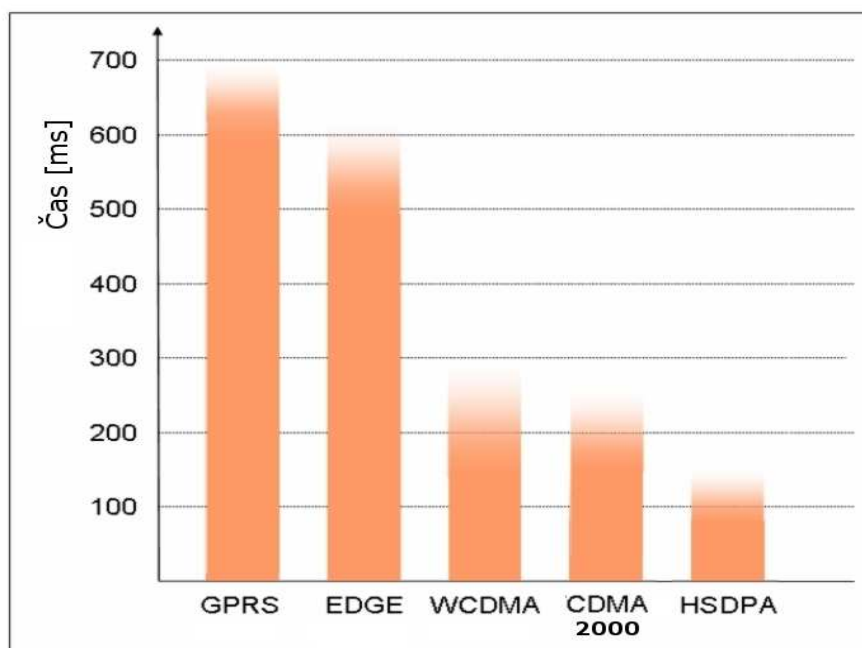
<sup>6</sup> Kódovací schéma 1, 2.

<sup>7</sup> Release 0

<sup>8</sup> Typická nejvyšší rychlost současných mobilních zařízení je 384 kbit/s.

<sup>9</sup> U prvních mobilních zařízení se očekává nevyšší teoretická rychlost 1,8 nebo 3,6 Mbit/s.

<sup>10</sup> U počátečních zařízení se předpokládá rychlost 550–800 kbit/s, s pozdějšími pokročilejšími zařízeními pak 770–1100 kbit/s.



**Obrázek 12: Udávaná doba zpoždění u jednotlivých technologií**

### 3.2.3 Cena a pokrytí

Při stálém zlepšování technologií a jejich využití při mnoha aplikacích se cena za služby (například Kč za Megabyte) snižuje. V budoucnosti bude možno použít bezdrátové připojení nejen pro více síťových aplikací, ale i vývojáři budou mít podnět k rozvoji nových zařízení a aplikací. To je spojené například s mobilní reklamou, multimediálním posíláním zpráv. V důsledku snižování cen se služby stávají dostupnější běžnému uživateli. Nicméně z čistě ekonomických důvodů jsou nové a rychlé sítě zaváděny převážně v hustě zalidněných aglomeracích. A proto v méně osídlených oblastech je nutné počítat i ve výhledu jen s méně progresivním růstem a použitím např. GPRS.

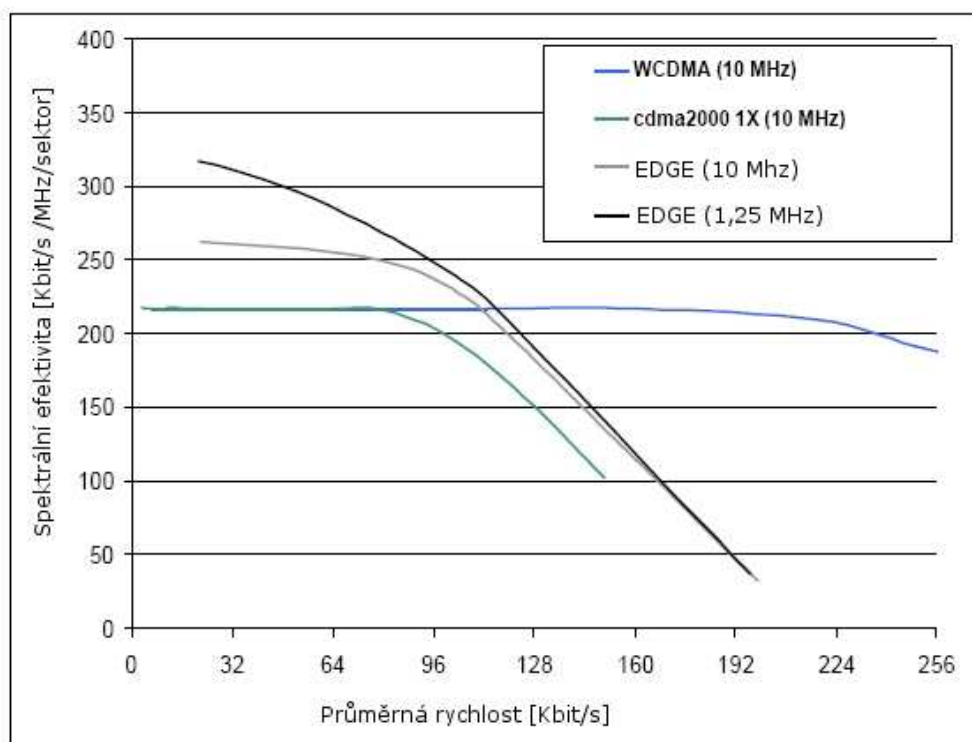


### 3.2.4 Přínos jednotlivých technologií

<b>Tabulka 10: Srovnání schopností technologií</b>	
<b>Technologie</b>	<b>Přínos / poznámka</b>
GPRS	IP paketové služby s rychlostí 50 kbit/s
EDGE	Již 3G technologie, trojnásobná rychlost a dvakrát vyšší spektrální efektivita oproti GPRS, zpětně kompatibilní s GPRS
W-CDMA	Simultánní hlasový a datový provoz, zlepšená bezpečnost, zaručená kvalita služeb, podpora multimédií a snížená latence, zvýšení spektrální efektivity přes EDGE pro širokopásmové aplikace
CDMA2000 1XEV-DO	Optimalizováno pro data, možné VoIP
CDMA2000 1XEV-DO REVA	Optimalizováno pro data a VoIP 70–100% zvýšení spektrální kapacity při uplinku
HSDPA	Vylepšení W-CDMA a zpětná kompatibilita, 2,5–3,5krát větší spektrální efektivita oproti W-CDMA, HSDPA nabídne data s maximální rychlostí až 10 Mbit/s

## 3.3 Spektrální efektivita

Každé zakódování dat pomocí technologie zabírá určitou šířku frekvenčního pásma, kde jsou bity přenášeny konkrétní rychlostí. Spektrální efektivita je definována počtem bitů za vteřinu, které mohou být přeneseny v šířce pásma o velikosti 1 Hz. V předcházející Tabulce 10 jsou hodnoty spektrální efektivity založeny na měření, během kterého bylo staženo velké množství souborů [13]. Pro průměrnou výkonnost simulace ukázaly, že EDGE má největší efektivitu pro rychlosti přenosu do 100 kbit/s. Pro rychlosti přenosu dat nad 100 kbit/s je vhodné W-CDMA.



**Obrázek 13: Spektrální efektivita pro vybrané technologie**

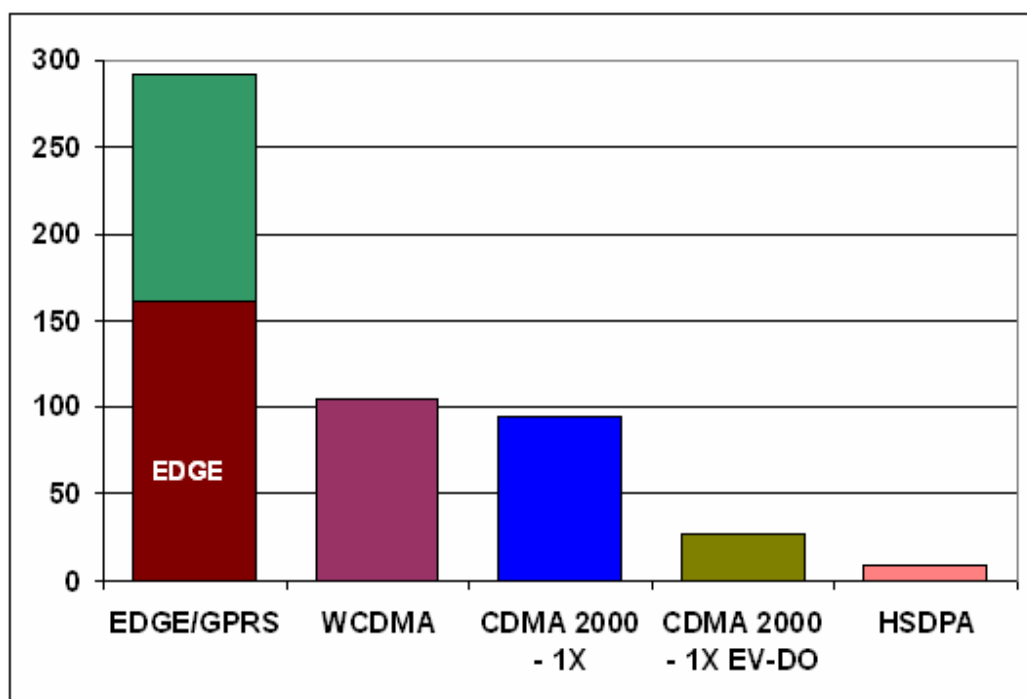
V případě, že je EDGE implementováno v 1,25 MHz pásmu bez řídicího kanálu, je efektivita dokonce větší (Obrázek 13). Zaváděná technologie HSDPA dále efektivitu zvětšuje díky jednoduché „cyklické obsluze“ plánování (viz 2.7.1). Spektrální efektivita HSDPA je srovnatelná s CDMA 1XEV-DO.

## 4 Mobilní technologie v oblastech světa

### 4.1 Všeobecný přehled – Svět

Během posledního desetiletí se mobilní komunikace z původně specializovaného obchodu stala jedním z největších a nejdůležitějších průmyslových odvětví na světě. A zdá se, že růst bude pokračovat i v budoucnosti. Pro názornost je třeba uvést, že v roce 1990 bylo pouze 10 milionů mobilních zákazníků po celém světě. A ke konci roku 2003 mobilní zákazníci svým počtem překonali pevné linky. To je jednoznačný důkaz, že mobilní komunikace je na prudkém vzestupu. Celkový počet mobilních zákazníků ke konci roku 2005 dosahoval 2,16 miliardy [14].

Světovou rozšířenost mobilních technologií popsanych v kapitole 2 shrnuje Obrázek 14 [15]. Převaha GPRS a EDGE potvrzuje významné postavení GSM.



Obrázek 14: Počet komerčních sítí podle technologie – Svět

## 4.2 Východní Asie – Japonsko, Korea

Japonsko z hlediska pozice vyspělé ekonomiky a kulturní velmoci vyvíjí tlak na evropské a americké hospodářství. Dokonce je možno říci, že je jednou z nejvyspělejších zemí, pokud se zaměříme na mobilní technologie [18].

Mobilní služba v Japonsku začínala zavedením NTT analogového buňkového systému v Tokiu v roce 1979 (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp). 2G standard PDC (Personal Digital Cellular), představený v roce 1994, je založen na TDMA. Je zajímavé, že v Japonsku a Koreji je vývoj tak rychlý, že je vynechán mezistupeň 2,5G a 2G sítě jsou přímo vytlačovány 3G. V současné době NTT DoCoMo, největší mobilní provozovatel v Japonsku a jeden z prvních na světě, nabízí úspěšně datové služby 3G. Zprovoznil W-CDMA síť a počet zákazníků rychle roste. KDDI, druhá největší telekomunikační společnost, spustila vlastní CDMA2000 1xEV-DO službu nazvanou „1X WIN.“ Následující Tabulka 11 srovnává první 3G sítě v Japonsku, které patřily všeobecně k prvním 3G sítím na světě [19].

<b>Tabulka 11: První 3G mobilní sítě v Japonsku</b>			
	<b>NTT DoCoMo</b>	<b>KDDI / AU</b>	<b>Vodafone<sup>11</sup></b>
<b>Technologie</b>	W-CDMA	CDMA2000–1x od 11/2003: CDMA 1X WIN	W-CDMA
<b>Datum spuštění</b>	Testování: 05/2001 Komerčně: 10/2001	CDMA2000: 05/2002 CDMA-WIN: 12/2003	Testování: 06/2002 Komerčně: 02/2002
<b>Rychlost dat (uplink, max)</b>	64 kbit/s	CdmaOne: 14,4 kbit/s CDMA2000 1X: 64 kbit/s CDMA2000 1xEV–DO: 144 kbit/s	64 kbit/s
<b>Maximální rychlost dat (downlink, max)</b>	384 kbit/s	CdmaOne area: 64 kbit/s CDMA2000 1X: 144 kbit/s CDMA2000 1xEV–DO: 2,4 Mbit/s	384 kbit/s

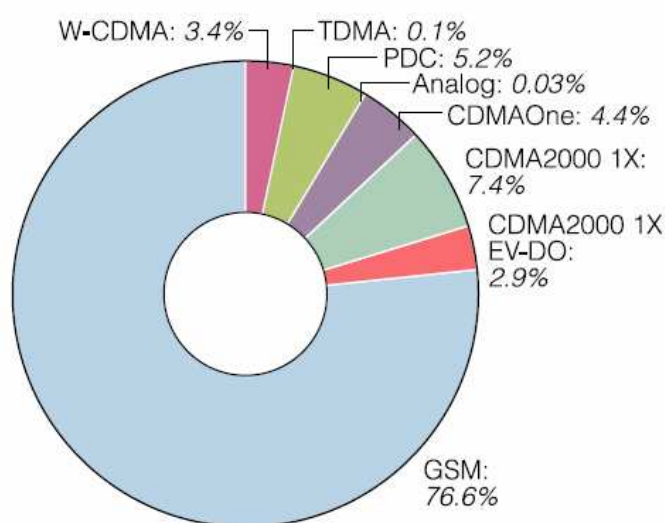
<sup>11</sup> Před 10/ 2003 J-Phone

<b>Služby</b>	hlas, data, i-mode, JAVA, video-telefonie, stahování hudby a videa	hlas, data, JAVA, GPS, stahování hudby a videa	hlas, data, Vodafone-Live!, JAVA, video-telefonie, stahování hudby a videa
<b>Odchozí mezinárodní roaming - (přenositelnost SIM karet)</b>	Ano, s oblastmi GSM	Ne	Ano, oblastmi s GSM
<b>Odchozí mezinárodní roaming - (přenositelnost mobilního zařízení)</b>	Ano, například NEC N900iG, (GSM, GRPS)	Ano, pro speciální telefon , s oblastmi CDMA (USA, Austrálie, ne Evropa)	Ano, pro 3G duální GSM/W-CDMA telefon s oblastmi GSM (Evropa, ale ne USA)
<b>Příchozí mezinárodní roaming (použitelnost Evropského/US zařízení v Japonsku)</b>	Ne GSM nebo 3G telefon, ale je možnost propůjčit DoCoMo telefon a vložit SIM-kartu spolupracujících společností.	Ne v této době.	Ano, pro Vodafone UMTS telefony

3G sítě pokrývají v Japonsku většinu obývaných oblastí. Všichni provozovatelé pokrývají 95% obyvatelstva i více. 3G služby postupně dosáhnou stejného stupně pokrytí jako služby 2G. Již v roce 2004 byly všechny tokijské stanice metra pokryty službami 3G operátorem FOMA. Pokrytí kancelářských budov a metra se neustále zlepšuje.

Stejně jako Japonsko i Jižní Korea je další zemí, která by měla být sledována. Ve skutečnosti pohled na počet mobilních zákazníků demonstruje, jak jsou tyto dva trhy velké v celosvětové oblasti 3G. Nyní je 191 milionů celosvětových 1xRTT zákazníků. V Japonsku a Koreji jich je přibližně 31% z celkového počtu. EV-DO uživatelé

v Koreji reprezentují téměř přes polovinu celosvětových uživatelů. Mezitím 22 milionů W-CDMA uživatelů v Japonsku reprezentuje 43% ze všech W-CDMA uživatelů.[17] Tato čísla se snižují se stávajícím zaváděním 3G sítí s EV-DO a W-CDMA technologiemi ve světě. Prozatím však tyto dvě země reprezentují ohromné množství 3G. Nejpůsobivější může být čas, v kterém nové sítě zavedly. Jihokorejský největší mobilní operátor SK Telecom spustil světově první 1xRTT síť už v říjnu 2000, EV-DO uvedl do provozu v lednu 2002. Tyto oblasti světa zřetelně poukazují na to, co znamená úspěch pro mobilní telekomunikaci. Na závěr této podkapitoly je uveden celkový pohled na technologie v oblasti Asie-Pacifik (Obrázek 15) [16].



**Obrázek 15: Podíl mobilních sítí pro oblast Asie-Pacifik**

## 4.3 Evropa

### 4.3.1 Celkový náhled

Evropský mobilní průmysl v současné době poskytuje značnou podporu jak uživatelům, tak i širší ekonomice. Mobilní operátoři přináší velký sortiment vysoce kvalitních služeb pro 459 milionů uživatelů [21]. Průměrná penetrace mobilních služeb v Evropské unii dosáhla v říjnu 2005 92,8%. 3G služby jsou nyní na vzestupu. Pokud chce Evropa udržet tento růst, musí se spolehnout na soutěživé a vyspělé mobilní odvětví, které se stará o vývoj. Za těchto okolností si budou moci zákazníci zvolit širokou řadu vysoce kvalitních služeb se zajímavými cenami. Následná konkurence by měla zajistit jak zvýšení kvality služeb, stejně tak inovaci v oblasti technologií, v místním volání i v mezinárodním roamingu.

V Evropě byla celulární síť spuštěna v roce 1981. Síť NMT450 (Nordic Mobile Telephone System) byla spuštěna v Švédsku, Dánsku, Finsku a Norsku. Roku 1985 byla ve Velké Británii spuštěna síť TACS (Total Access Communication System) na frekvenci 900 MHz, v Západním Německu a Rakousku síť C-Netz, ve Francii Radiocom 2000 a v Itálii RTMS (Radio Telephone Mobile System) [20]. Nevýhodou byla relativně nízká kapacita sítě a nemožnost přenášet jakákoliv data. Jednalo se o analogové sítě. Protože existovala řada rozdílných sítí, v roce 1982 Evropská komise pro pošty a telekomunikace (sdružující 26 evropských telekomunikačních společností) spustila projekt Groupe Spéciale Mobile (GSM), který měl vyvinout celoevropskou mobilní telefonní síť. V roce 1989 převzal zodpovědnost nad vývojem GSM Evropský telekomunikační institut. Nyní se zkratka GSM vysvětluje jako Global System for Mobile Communications. Mezi první země s GSM patřilo Dánsko, Finsko, Francie, Německo, Itálie, Portugalsko a Švédsko. Zpočátku se systém používal především pro hlasové služby, ale v současné době se již ve velké míře využívá také k přenosu dat. Je dostatečně flexibilní pro implementaci novějších technologií (GPRS a EDGE).

První evropská 3G síť byla spuštěna překvapivě v Rumunsku díky operátoru Zapp, který spustil síť CDMA 1xRTT již v prosinci 2001. Přehled vybraných evropských sítí 3G tříděný podle jednotlivých států je zobrazen v Tabulce 12 níže. Jak je vidět, nejbohatší na sítě 3G je v Evropě Velká Británie s Rakouskem.

<b>Tabulka 12: Vybrané evropské země a jejich 3G sítě [15]</b>		
<b>Země</b>	<b>Technologie</b>	<b>Operátor<sup>12</sup></b>
Rakousko	5 × UMTS	Mobilkom (HSDPA), Hutchison, Connect, Telering, T-Mobile (HSDPA)
V. Británie	5 × UMTS	Hutchison, T-Mobile, Vodafone, Orange, O2, Manxtelecom (HSDPA)
Německo	4 × UMTS	Vodafone (HSDPA), T-Mobile (HSDPA), E-Plus, O2
Švédsko	4 × UMTS	Hutchison, Vodafone, TeliaSonera, Tele2 AB
Itálie	4 × UMTS	Hutchison, Vodafone, TIM, Wind
Finsko	3 × UMTS	Sonera, Elisa, DNA Finland

<sup>12</sup> Případně v závorce je doplněno, který operátor provozuje ve své síti technologii HSDPA

Rumunsko	CDMA 1xRTT, CDMA EV-DO, UMTS	Zapp, Connex – MobiFon SA
Nizozemsko	3 × UMTS	Vodafone, KPN, T-Mobile
Dánsko	3 × UMTS	Hutchison, TDC, Telia Senea
Španělsko	3 × UMTS	Telefonica, Vodafone, Amena
Portugalsko	3 × UMTS	TMN – Portugal Telecom, Vodafone, Optimus
Řecko	3 × UMTS	Vodafone, TIM – STET Hellas, Cosmote
Norsko	2 × UMTS	Telenor, NetCom
Francie	2 × UMTS	SFR, Orange
Polsko	2 × UMTS	Polkomtel – PlusGSM, PTC – EraGSM
Slovensko	2 × UMTS	Orange, T-Mobile
Česko	CDMA EV-DO, UMTS	Eurotel (HSDPA) <sup>13</sup>

Nejlépe, co se týká počtu zákazníků, je na tom Švédsko. Tamní síť 3G zasahuje více než 85% populace. Tato skutečnost nepřekvapí, pokud vezmeme v úvahu historické souvislosti. Na dalších místech v Evropě jsou pak Velká Británie, Rakousko, Itálie či Německo [22].

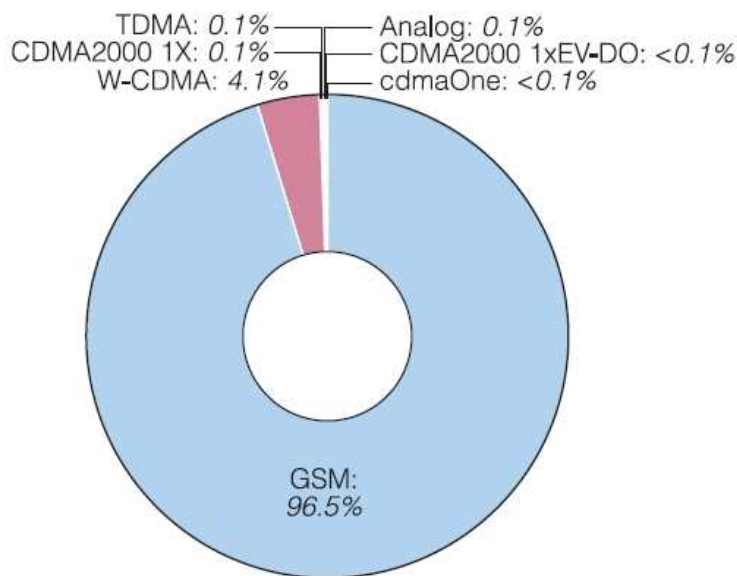
Operátoři do zprovoznění 3G sítí a služeb mnoho investovali a již nabízejí komerční využití. Ačkoli 3G sítě jsou ještě nové, pracují na úspěchu mezi spotřebiteli s aktuálním počtem 25 milionů uživatelů. Tento vývoj podporují i zlepšené technologie. HSDPA technologie s reálnou rychlostí přes 1Mbit/s již byla spuštěna několika operátory. Technologická inovace pro Evropany také rozšiřuje komunikační možnosti při cestování do zahraničí. Pro cestovatele je dostupné mobilní volání, textové zprávy, e-mail, MMS a další možnosti služeb.

---

<sup>13</sup> Doplněno o HSDPA 11.4.2006



Následující Obrázek 16 potvrzuje v Evropě jednoznačnou nadvládu technologií GSM [16].



**Obrázek 16: Podíl mobilních sítí na trhu pro oblast Evropy**

#### 4.3.2 Česká republika

V České republice byl prvním operátorem Eurotel, který nabídl síť třetí generace s CDMA. Je také prvním, kdo spustil plnohodnotnou 3G síť (UMTS) v prosinci 2005. Nabízí služby, včetně video-hovoru, možnosti přehrávání a stahování videa, sledování televize, nového wapového portálu a datové služby. Pokryta je Praha a část Brna. Do dvou let má být pokryto padesát procent populace. Rychlý Internet Eurotel poskytuje především ve své datové síti prostřednictvím standardu CDMA2000 1xEV-DO. Jedná se o síť v pásmu 450 MHz, která je zároveň používána pro starou NMT síť. Teoretická maximální rychlost v ČR směrem k uživateli je na úrovni 1 Mbit/s. V praxi se průměrné dosahované rychlosti pohybují okolo 300 kbit/s. Směrem od uživatele do Internetu mohou dosahovat rychlosti až 156 kbit/s, kdy v praxi se průměrná rychlost pohybuje okolo 80 kbit/s.

T-Mobile sice také využívá svoji UMTS licenci pro síť třetí generace, ovšem síť, pro kterou ji prozatím využívá, není určena pro hlasové, ale výhradně datové služby. Internet 4G od T-Mobile není plnohodnotná 3G síť, protože nelze realizovat hovory (vyjma VoIP). Dále je třeba speciální hardware, nepodporuje standardní 3G telefony a je potřeba nová samostatná SIM karta. Rychlosti záleží na zvoleném tarifu. S nižším programem je maximum 512/128 kbit/s (download/upload), u vyššího tarifu lze dosáhnout 1024/256 kbit/s. Důležitý je i parametr latence, odezva má být 50–

70 ms. V reálném prostředí záleží na lokalitě a na zatížení. Rychlost se s vyšším tarifem pohybuje kolem 900 kbit/s s latencí 80 ms. Při uploadu se dosahuje rychlost řádově 300 kbit/s [23]. T-Mobile pro spuštění logicky zvolil Prahu. Služba se postupně bude rozrůstat i do dalších oblastí.

Eurotel už UMTS má, T-Mobile jen datovou verzi a Vodafone síť UMTS připravuje. V tomto či příštím roce je však předpokládáno, že se služby všech tří operátorů srovnají a začne tuhý boj o zákazníky.

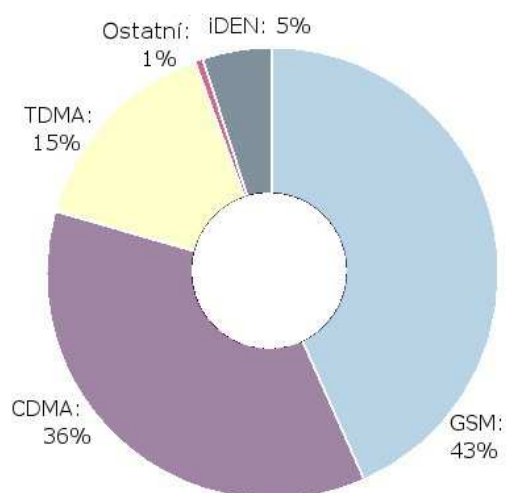
#### 4.4 Amerika – USA

V USA byla první mobilní síť AMPS (Advanced Mobile Phone Service) spuštěna v roce 1978. První komerční mobilní síť však byla spuštěna až v roce 1983. Po rozhodnutí digitalizovat se objevila síť IS-136 (Digital AMPS), iDEN (Integrated Digital Enhanced Network) a IS-95(CdmaOne).

Během poslední doby je trh s mobilními komunikacemi ve Spojených státech s rozvojem GSM svědkem dramatické změny. Růst GSM přišel na úkor TDMA a AMPS. Tyto dvě technologie jsou rychle nahrazovány GSM a alternativami CDMA. Obzvláště strmý pokles růstu AMPS poukazuje na fakt, že 1G technologie je na definitivním ústupu. Velká část USA je již pokryta CDMA2000 1x (dnes tuto službu nabízí 19 operátorů). Postupně dochází k rozmístování CDMA2000 1xEV-DO. Společnost AT&TWireless během roku 2004 spustila zatím jedinou síť W-CDMA [15]. Pro srovnání, GSM je ve Spojených státech poskytováno 52 operátory [16]. Trend celkového přesunu na technologie GSM platí pro celou západní polokouli. V následující Tabulce 13 je zaznamenán přírůstek digitálních mobilních uživatelů během roku 2005 [14].

<b>Tabulka 13: Růst mobilních zákazníků v Americe</b>			
	<b>počet uživatelů 12/2004</b>	<b>růst</b>	<b>počet uživatelů 12/2005</b>
<b>GSM</b>	118 200 000	<b>67,6%</b>	198 100 000
<b>CDMA</b>	135 200 000	<b>22,2%</b>	165 200 000
<b>TDMA</b>	90 200 000	<b>-24,5%</b>	68 100 000
<b>iDEN</b>	19 300 000	<b>16,8%</b>	22 600 000
<b>ostatní</b>	7 600 000	<b>-56,6%</b>	3 300 000
<b>Celkem</b>	370 500 000	<b>23,5%</b>	457 300 000

Procentuální zastoupení uživatelů v oblasti Ameriky pro lepší přehled zobrazuje Obrázek 17.



**Obrázek 17: Podíl zastoupení mobilních uživatelů pro oblast Ameriky<sup>14</sup>**

---

<sup>14</sup> Nezahrnuje minimální procento zákazníků využívající W-CDMA a analogových sítí

## 5 Aplikace

### 5.1 Java 2 Micro Edition

Java Micro Edition (J2ME) představuje podmnožinu jazyka Java 2 Standard Edition. Java je objektově orientovaný jazyk, který vychází z jazyků C a C++. Syntaxe je jednodušší a srozumitelnější. Prostřednictvím výjimek lze zachytit chyby a neočekávané stavy vyskytující se za běhu programu a umožnit tak jeho zotavení. Jazyk zahrnuje prostředky pro paralelní běh částí programu a jejich synchronizaci. Použití J2ME je zaměřeno na malá bezdrátová zařízení s omezeným paměťovým prostorem. Základní vlastnosti pro jednotlivá zařízení jsou určeny *konfiguracemi* J2ME, které definují programové vybavení pro určité skupiny zařízení. Podmnožiny programového vybavení pro danou úroveň zařízení jsou dány *profily*. Ty jsou rozlišeny podle typu a velikosti paměti, typu a rychlosti procesoru a síťového připojení. Profil doplňuje konfiguraci tak, že výsledná aplikace je lépe přizpůsobena vlastnostem dané skupiny zařízení.

Profil MIDP (Mobile Information Device Profile) je používán pro bezdrátová zařízení (mobilní telefony a pagery) konfigurace CLDC. Java aplikace pro MIDP se nazývají MIDlety. MIDlet obsahuje třídy a metody pro řízení průběhu aplikace. MIDlet se může nacházet ve třech stavech: přerušený, aktivní nebo zrušený. Zařízení s MIDP jsou schopna zobrazit pouze jedno uživatelské okno. MIDP rozšiřuje CLDC o podporu HTTP. Před instalací do daného zařízení se ze všech MIDletů aplikace vytvoří soubor JAR (Java Archive). Do něho jsou zabaleny všechny potřebné třídy aplikace (kromě tříd samotného MIDP), obrázky a jiné soubory [24].

### 5.2 Vývojové prostředí aplikace

Aplikace byla vyvíjena pomocí integrovaného prostředí NetBeans a přídatného modulu MobilityPack. Tento modul je optimalizovaný pro mobilní zařízení, profil MIDP a jazyk J2ME. Pro hardwarovou simulaci mobilního zařízení byl používán emulátor J2ME Wireless Toolkit, Siemens Mobility Toolkit a Nokia Series60Platform Software Development Kit.

### 5.3 Architektura aplikace

Aplikace je závislá na spojení *klienta* a *webového serveru*. Pokud dojde z důsledku potřeby klienta ke spojení, webový server zašle požadovaná data. Odpovědi jsou poté klientem přijaty, zpracovány a zobrazeny.



**Obrázek 18: Komunikace mezi klientem a serverem**

#### 5.3.1 Popis metod

Navržená klientská aplikace je tvořena základní třídou `GetSpeed06`, která je potomkem třídy `MIDlet`. Obsahuje sdílená data a jednotlivé metody (popis viz Tabulka 14), kde jsou realizovány různé operace. Celá aplikace je zabalena do souboru `GetSpeed06.jar` a její popis je obsažen v souboru `GetSpeed06.jad`.

Tabulka 14: Metody aplikace a jejich popis	
Název metody	Popis funkce
StartApp	Vygenerování jednotlivých formulářů obsahující menu, nápovědu a informace, spuštění úvodního menu
CommandAction	Přepínání mezi formuláři (úvodní menu, hlavní menu, zobrazení výsledků a grafu) a volání jednotlivých akcí (vypnutí, opětovné stažení, vymazání displeje vytvoření vlákna pro dotazování) na základě stisknutí dialogového tlačítka; nastavení webové adresy dokumentů ke komunikaci s webovým serverem
Run	Provedení vlastního dotazu na požadovanou stránku a je zde odečten časový interval potřebný pro výpočet rychlosti přenosu dat; tato metoda běží paralelně k hlavnímu vláknu aplikace
Spocti	Zpracování získaných dat; porovnáním velikosti stažených dat a k tomu potřebné doby se vypočte rychlost proběhlého přenosu; ze získaného vstupujícího pole průběžně určovaných rychlostí je vyhodnocena maximální, minimální a průměrná hodnota

GrafCanvas	Vnitřní třída, která zajišťuje proporcionální zobrazení hodnot v závislosti na rozlišení displeje použitého zařízení do přehledného barevného grafu
ZobrazObsah	Podle toho, zda se jedná o text či obrázek, je stažený dokument vyhodnocen a zobrazen na formuláři
Vyprazdni	Vymazání displeje zařízení
DestroyApp	Ukončení aplikace

## 5.4 Uživatelské rozhraní aplikace

Jak již z předešlého textu vyplývá, aplikace GetSpeed06 je určena pro mobilní zařízení podporující jazyk J2ME. Navržená aplikace řeší realizaci internetové komunikace a stažení dokumentu z webových stránek. Jejím hlavním účelem je podat aktuální informaci o rychlosti stahování dat.

### 5.4.1 Hlavní menu

Po spuštění se zobrazí úvodní obrazovka, na které má uživatel možnost výběru hlavního menu, nápovědy, zobrazení informace o aplikaci a možnost ukončení. V hlavním menu si uživatel zvolí typ a velikost dokumentu ke stažení, či vloží vlastní požadovanou URL adresu (viz následující Obrázek 19).



Obrázek 19: Úvodní a hlavní menu, zadání vlastní URL adresy

### 5.4.2 Stažení dokumentu, zobrazení výsledků

Po vybrání dokumentu je provedeno jeho stažení. Pro větší objektivitu je dokument stahován třikrát. Následuje vyhodnocení dvou rychlostí. První je rychlost,

kdy je prováděno vlastní stahování, druhá hodnota započítává i čas k dosažení komunikace se serverem a přístupu k dokumentu. Tato rychlost je v reálném prostředí minimální.

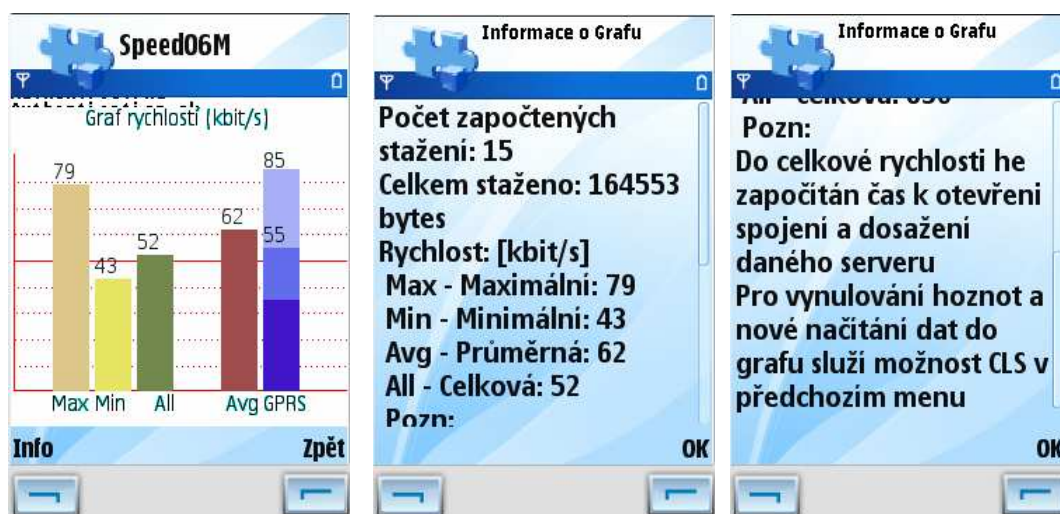
Dále si uživatel může zvolit tyto operace:

- Smazání obrazovky
- Opětne stažení dokumentu
- Zobrazení obsahu dokumentu
- Grafické vyhodnocení rychlosti
- Návrat zpět do hlavního menu



Obrázek 20: Zobrazení výsledků a dokumentů

V grafickém zobrazení je uvedeno porovnání dosažené průměrné rychlosti s dnes široce dostupnou technologií GPRS.



Obrázek 21: Grafické zobrazení výsledků

## 5.5 Test funkčnosti návrhu aplikace

Výše zmíněná aplikace byla vyzkoušena v běžném prostředí za použití technologie GPRS a mobilního telefonu Nokia 6600i.

Naměřené hodnoty pro Průměrnou rychlost se pohybovaly v rozsahu 35–71 kbit/s. Celková rychlost se pohybovala kolem 10 kbit/s která je ovlivněna relativně malou velikostí stahovaných dokumentů a délkou latence, která je do této celkové rychlosti zahrnuta. z naměřených výsledků vyplývá, že technologie GPRS opravdu poskytuje předpokládanou rychlost kolem 50 kbit/s. Rozptyl hodnot potvrzuje, že rychlost přenosu závisí na dostupnosti a vytíženosti sítě, hlasové služby mají přednost před GPRS (viz 2.2).



## Závěr

Cílem práce bylo zdokumentovat současný stav mobilních technologií v oblasti telekomunikace. Toto odvětví ale prochází tak rychlým vývojem, že zde shromážděné aktuální informace budou v brzké době zastaralé. Proto se dá předem jen těžko odhadnout, jaká situace v daném oboru bude za několik let. Nově jsou postupně spouštěny hlavně sítě datové, což potvrzuje současný trend převahy datových služeb nad hlasovými. K posouzení technologií slouží mnoho parametrů a hledisek, proto není rozumné se omezit pouze na maximální přenosovou rychlost.

Společně s rozvojem mobilních sítí a jejich technologií však na druhé straně pochopitelně rostou požadavky na služby i ze strany uživatelů. Dlouhá léta byl mobilní internet výsadou jen nejbohatších manažerů, nyní se stal dostupný i pro širší veřejnost. Dosažitelnost video-hovorů, stahování videa a hudby v dostatečné kvalitě a rychlosti, sledování televizního vysílání je pro běžného uživatele pouze otázkou času. S novými a rychlejšími nabídkami dochází zároveň ke značnému rozšiřování trhu a k poklesu cen.

Podle shromážděných poznatků bychom si dovolili tvrdit, že východní Asie má oproti Západu náskok a že Japonsko je hlavním zdrojem vývoje mobilní telekomunikace.

Provedený návrh praktické aplikace řeší možnost určení rychlosti stažení vybraného dokumentu z webových stránek. Zajímavou zkouškou pro tuto aplikaci by bylo porovnání rychlosti při stahování jednoho většího celkového dokumentu s rychlostmi při jeho stahování po dílčích, menších částech.

Věříme, že tato práce může čtenáři poskytnout obecný přehled o stavu současných mobilních sítí a o možnostech nabízených jednotlivými technologiemi. Snažili jsme se zde shromáždit a přehledně uspořádat základní informace, které mohou být zajímavou motivací k dalšímu studiu a poznávání stále novějších technologií a zařízení.

## Seznam použité literatury

- [1] Peterka J. *Data v mobilních sítích*. [online]. eArchiv Jiřího Peterky. [2006-05-11]. URL:<<http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s200.php3>>
- [2] Kumar V. *Mobile Computing – Cellular Technology*. University of Missouri-Kansas City. [online]. [2006-05-11]. URL:< <http://www.sice.umkc.edu/~kumarv/cellular-technology.pdf>>
- [3] Molnár J. *Vlastnosti a požadavky na systémy 3G*. [online]. [2006-05-11]. URL:< [http://www.umts.wz.cz/Mob\\_radio\\_site\\_3G/vl\\_a\\_poz\\_na\\_3G.htm](http://www.umts.wz.cz/Mob_radio_site_3G/vl_a_poz_na_3G.htm)>
- [4] Autoři Wikipedie, 2G. Wikipedie: Otevřená encyklopedie. [online]. [2006-05-11]. URL:<<http://en.wikipedia.org/wiki/2G>>
- [5] Usha communications technology. *General Packet Radio Service*. 2000. White Paper. [online]. [2006-05-11]. URL:<<http://www.mobilein.com/GPRS.pdf>>
- [6] Vesala S., Koivu K. *Positioning edge in the mobile network evolution*. 2003. Research Seminar on Telecommunications Business II, Helsinki University of technology, department of computer science
- [7] Ericsson. *EDGE - high-speed data in GSM/GPRS network*. 2003. White Paper [online]. [2006-05-11]. URL:<[http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/edge\\_wp\\_technical.pdf](http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/edge_wp_technical.pdf)>
- [8] Thelander M. W. *The 3G Evolution: Taking CDMA2000 Into The Next Decade*. 2005. White Paper pro CDMA Development Group. [online]. [2006-05-11]. URL:<[http://www.cdg.org/resources/white\\_papers/files/3G\\_Evol\\_Oct05.pdf](http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/3G_Evol_Oct05.pdf)>
- [9] Qualcomm, *1x EVolution IS-856 TIA/EIA Standard*. 2001. [online]. [2006-05-11]. URL: <[http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV\\_AirlinkOverview\\_110701.pdf](http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV_AirlinkOverview_110701.pdf)>
- [10] Ojanpera T., Prasad R. *The W-CDMA Air Interface*. [online]. [2006-05-11]. URL: <<http://www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf>>
- [11] Nokia. *Nokia HSDPA Solution*. 2003. White Paper. [online]. [2006-05-11]. URL:<[http://www.nokia.com/NOKIA\\_COM\\_1/About\\_Nokia/Research/Demos/HSDPA/HSDPA\\_A4.pdf](http://www.nokia.com/NOKIA_COM_1/About_Nokia/Research/Demos/HSDPA/HSDPA_A4.pdf)>
- [12] Rysavy P. *Data Capabilities GPRS to HSDPA and beyond*. 2005. White Paper pro 3G Americans. [online]. [2006-05-11]. URL:<[http://www.rysavy.com/Articles/Rysavy\\_Data\\_Paper-Sept2005.pdf](http://www.rysavy.com/Articles/Rysavy_Data_Paper-Sept2005.pdf)>
- [13] Rysavy P. *Data Capabilities for GSM Evolution to UTMS*. 2005. White Paper pro 3G Americans. [online]. [2006-05-11]. URL:<[http://www.rysavy.com/Articles/rysavy\\_data\\_paper.pdf](http://www.rysavy.com/Articles/rysavy_data_paper.pdf)>
- [14] 3G Americans. [online]. [2006-04-03]. URL:<<http://3g.amerians.com/>>
- [15] 3G Today. [online]. [2006-04-03]. URL:<<http://www.3gtoday.com/>>
- [16] GSM. [online]. [2006-04-03]. URL:<<http://www.gsmworld.com/>>

- [17] TCA Japanese. *The number of subscribers*. 2006. [online]. [2006-04-03].  
URL:<<http://www.tca.or.jp/eng/database/daisu/>>
- [18] Masnick M. *3G Dominates In South Korea*. 2004. TheFeature.com archiv [online]. [2006-04-03]. URL:<[http://www.thefeaturearchives.com/topic/Networks/3G\\_Dominates\\_In\\_South\\_Korea.html](http://www.thefeaturearchives.com/topic/Networks/3G_Dominates_In_South_Korea.html)>
- [19] Eurotechnology Japan K.K. *3G (wCDMA, CDMA-2000, UMTS, FOMA) in Japan FAQ*. [online]. [2006-04-03].
- [20] Farley T. *Mobile Telephonz history*. [online]. [2006-04-03].  
URL:<<http://www.privateline.com/PCS/history9.htm>>
- [21] GSM Association, *GSM Association's response to the European Commission's call for input on potential EU regulation on international roaming*. 2006. [online]. [2006-31-03].  
URL:<[http://europa.eu.int/information\\_society/activities/roaming/docs/comments/gsma.pdf](http://europa.eu.int/information_society/activities/roaming/docs/comments/gsma.pdf)>
- [22] Snášel J. *ČR ve světě 3G: jsme a budeme výjimeční 2005*. [online]. [2006-04-03]. URL:<<http://www.mobilmania.cz/Operatori/AR.asp?ARI=111008>>
- [23] Lutonský M., Polesný M. *T-Mobile Internet 4G: vše, co potřebujete vědět o rychlém internetu*. 2005 [online]. [2006-04-03].  
URL:<<http://www.mobilmania.cz/Operatori/AR.asp?ARI=111152&CAI=2116>>
- [24] Orlich M. *Praktická Java 1*. 2003. Přednáška pro RDC. [online]. [2006-04-03].  
URL:<<http://www.rdc.cz/>>
- [25] Konsorcium TechRepublic. [online]. [2006-04-03]  
URL:<<http://www.itpapers.com>>